विज्ञान

लेखक

केशव विठ्ठल चितळे,
BSc., L. T., L. L. B.

पुणें.

सन १९३०.

(२४ पौंडी देशी ग्लेझ पेपर वापरला आहे.)

प्रथमावृत्ति.

किंमत २॥ रूपये.

विज्ञान

लेखक

केशव विठ्ठल चितळे,

BSc., L. T., L. L. B.

पुणें.

सन १९३९.

(२४ पौंडी देशी ग्लेझ पेपर वापरला आहे.)

प्रथमावृत्ति.

किंमत २॥ रुपये.

प्रकाशक:—
जनार्दन सदाशिव लिमिटेड,
३९४ सदाशिव पेठ, पुणें नं. २.

1951

मिळण्याचीं मुख्य ठिकाणें.

जनार्दन सदाशिव लि.
३९४ सदाशिव, पुणें नं. २

मुंबईस फक्त बुकसेलर्सकरितां
रा. रा. सदाशिव हरी मोडक,
बी. ए. ऑनर्स,
काळाराम मंदिर, ठाकुरद्वार
मुंबई नं. २

मुद्रक:—
लक्ष्मण सखाराम केळकर,
जनार्दन सदाशिव लि. चा प्रेस,
३९४ सदाशिव पेठ, पुणें नं. २.

प्रस्तावना.

श्री. के. व्ही. चितळे, बी. एस्. सी.; एल्. टी. (सायन्स विषयाचे शिक्षक, क्रॅडॉक हायस्कूल वर्धा यांनीं लिहिलेल्या "शास्त्रीय विषयांतील प्राथमिक पाठ" ह्या पुस्तकांत आलेले शास्त्रीय विषय इंग्रजी ९ वर्गाच्या अभ्यासक्रमास पुरेसे आहेत. त्या पुढील वर्गापासून मध्यप्रांतांतील हायस्कूल सर्टिफिकेट परीक्षेपर्यंत विज्ञानशास्त्राच्या (Physics) अभ्यासक्रमांतील प्रकाश, विद्युत्; चुंबकत्व इत्यादि विषय प्रस्तुत पुस्तकांत घेतले आहेत.

'प्रकाश' या विषयाची श्री. चितळे यांनीं परंपरा सोडून जरा निराळ्या रितीनें मांडणी केली आहे. वक्रीभवनाचे नियम प्रथम न घेतां भिंगा-(Convex lens) विषयीं सामान्य अनुभव गृहित धरून वस्तू व तिची प्रतिमा याच्या भिंगापासून अंतरांचे सूत्र प्रयोगद्वारा व गणिताचे साह्यानें सिद्ध केलें आहे, व नंतर वक्रीभवनाचे सामान्य नियम दिले आहेत. हा क्रम आजवरील विचारपद्धतीस धरून नसला तरी चिंतनीय आहे. या नवीन मांडणीनें विद्यार्थ्यांत विषयाची जास्त आवड उत्पन्न होईल अशी लेखकाची ईच्छा दिसते. परंतु ती सफल होणें हें प्रस्तुत पुस्तक उपयोगांत आणणाऱ्या शिक्षकांच्या अनुभवावरच अवलंबून आहे.

भिंगें व गोल आरसे यांच्या योगानें होणाऱ्या वस्तूंच्या प्रतिमांच्या अंतराविषयींच्या सूत्रांत धन व ऋण चिन्हांनीं नवीन विद्यार्थ्यांचा होणारा घोटाळा टाळण्याकरितां Physical Society (London) ने आपल्या प्रतिवृत्तांत शिफारस केलेल्या सूचनांचा श्री. चितळे यांनी उपयोग केला आहे. नवीन विचाराचा अशा रितीनें संग्रह करण्यांत श्री. चितळे यांनीं विज्ञान शास्त्राच्या शिक्षणांत जरूर असणारा अद्यावतपणा ठेविला आहे.

शास्त्रीय विषयाच्या अभ्यासास जरूर असणारी पुस्तकें मराठींत आज थोडींच आहेत. त्यांतहि परिभाषेचा (Terminology) अनिश्चितता आहे. अशा वेळीं शास्त्रीय विषय सुबोध कसा करितां येईल हा शिक्षकांपुढील प्रश्न ह्या पुस्तकानें बराचसा सुटेल. प्रस्तुत पुस्तक श्री. चितळे यांच्या दीर्घ कालीन शिक्षणानुभवास साजेसें आहे.

वि. ना. थत्ते, डी. एस्. सी.
सायन्स कॉलेज.

प्रास्ताविक.

‘शास्त्रीय विषयांतील प्राथमिक पाठ’ हें पुस्तक लिहितानां मॅट्रिक्युलेशन परिक्षेस लागणाऱ्या शास्त्रीय विषयांचा परिचय जितक्या सुलभरीतीनें करतां येईल तितका करण्याचा प्रयत्न करावा व त्याकरतां अवश्य तीं पुस्तकें लिहावीं असा अल्पसा संकल्प मी केला होता. तो अंशतः तरी सफल करण्याचें सद्भाग्य मला लाभले याबद्दल परमेश्वराचा मी अत्यंत आभारी आहे

प्रस्तुत पुस्तकांत नागपूर बोर्डाच्या ‘ हायस्कूल सर्टिफिकेट व मुंबई युनिव्हर्सिटीची मॅट्रिक्युलेशन या परिक्षांकरतां लागणारा विज्ञानाचा सर्व भाग समाविष्ट केला आहे. या पुस्तकांतील सर्व विषयांचे विवेचन प्रचलित शास्त्रीय कल्पनांचे आधारें केलें आहे. नित्य व्यवहारांत उपयोजीले जाणारें पारिभाषिकशब्द मुलांना कळावेत या दृष्टिनें त्यांचा योग्य त्या ठिकाणीं उपयोग केला आहे.

आजवर हा विषय इंग्रजी भाषेंतून शिकविला जात असल्यानें योग्य ते पारिभाषिक शब्द मराठी भाषेंत नाहींत ही अडचण दूर करण्याकरतां पारिभाषिक शब्दांची निवड करतांना, इंग्रजी पारिभाषिक शब्दांनीं जी कल्पना येते ती पूर्णत्वानें यावी व शब्द अवजड होऊं नयेत म्हणून शक्यतोंवर प्रयत्न केला आहे

माहीत असलेल्या गोष्टींच्या सहाय्यानें माहित नसलेल्या गोष्टी शिकवाव्या असा शिक्षणशास्त्राचा सर्वसंमत सिद्धांत आहे. भिंग हें नित्योपयोगी दृक्‌–यंत्रांतील महत्वाचा भाग असल्यानें त्याविषयीं सर्वसाधारण माहिती बहुधा असते असें मानून, प्रकाश या भागांत रूढ परिपाठ सोडून भिंगाविषयीं प्रथम माहिती सांगितली आहे. व त्यानंतर वक्रीभवन, गोल आरसे वगैरे भाग घेतले आहेत.

१९३४ सालच्या Physical Socity च्या Teaching of Geometrical optics वरील अहवालांत नमूद केलेल्या ‘खरें तें धन भ्रामक तें

ऋण या सूचनेच्या आधारें भिंगाचें सूत्र सिद्ध करून दाखविलें आहे व या पद्धतीनें कांहीं उदाहरणेंहि सोडवून दाखविलीं आहेत.

चुंबकत्व या भागांत चुंबकाच्या अणुमय कल्पनेच्या आधारें त्या विषयांचे प्रतिपादन केले आहे.

विषयाची मांडणी जितक्या सोप्यारीतीने करता येणे शक्य आहे तितक्या रीतीनें केली आहे. प्रत्येक सिद्धांताच्या सिद्ध्यर्थ अनेक प्रयोग दिले आहेत. पुस्तकांत एकंदर ३०९ आकृति आहेत.

हें पुस्तक लिहिताना ज्या ग्रंथकारांच्या ग्रंथांचा उपयोग मी केला आहे त्यांचा मी फार आभारीं आहे.

आपली महत्त्वाची कामें बाजूस सारून फुरसत नसताहि या पुस्तकाची हस्तलिखितें वाचून अनेक महत्वाच्या सूचना केल्या व या पुस्तकास प्रस्तावना लिहून दिली याबद्दल नागपूरच्या सायन्स कॉलेजमधील प्राध्यापक डॉ. वि. ना. थत्ते; डी. एस्सी. यांचा मी अत्यंत ऋणी आहे.

तसेच पटवर्धन हायस्कूल मधील सायन्स शिक्षक हरीभाऊ बापट व वर्ध्याच्या मुलींच्या शाळेतील शिक्षक रा. पेंडसे, वणीचे रा. गुर्जर यांनीं वेळोवेळीं केलेल्या सूचनांबद्दल; जनार्दन सदाशिव लिमिटेड पुणें यांनीं छपाईचे काम सुबकपणें केल्याबद्दल व महाराष्ट्र फोटो झिंको वर्कर्सचे मालक रा. भिडे आणि नवजीवन प्रोसेस वर्क्सचे मालक रा. भाटे यानी ब्लॉक्स सुबक करून दिल्याबद्दल मी या सर्वांचा ऋणी आहे.

पुस्तकाची उपयुक्तता वाढावी या दृष्टीनें माझ्या सहकारी मित्रांकडून ज्या सूचना येतील त्यांचा मी साभार स्वीकार करीन असें आश्वासन देऊन माझे प्रास्ताविक पुरे करतो.

केळकर बाग
वर्धा
१६ जून १९३९

के. व्ही. चितळे.

अनुक्रमणिका.

भाग पहिला

उष्णता १–१३०

भाग दुसरा

चुंबकत्व १३१–१७०

भाग तिसरा

विद्युत् १७१–२७०

भाग चवथा

प्रकाश २७१–४१६

भाग पांचवा

ध्वनि ४१७–४५८

विज्ञान—भाग १ ला.

उष्णता.

प्रकरण १ लें.

उष्णतेचे परिणामः—

(१) उष्णतेनें पदार्थांच्या स्थितींत बदल होतो—

प्रयोग १—एका भांड्यांत थोडेसें बर्फ घेऊन त्यास उष्णता द्या. बर्फ वितळतांना दिसेल. याचप्रमाणें तूप, लोणी, मेण वगैरे पदार्थ तापवून पाहा. तेहि वितळतात म्हणजे ते घन स्थितींतून द्रव स्थितींत जातात.

प्रयोग २—पाणी, रॉकेल, स्पिरिट वगैरे पदार्थ निरनिराळ्या भांड्यात घेऊन तीं भाडीं उन्हात ठेवा. सूर्याच्या उष्णतेनें त्याचें वायुरूपांत रूपांतर होतें असें दिसेल.

प्रयोग ३—एका परीक्षण नळींत थोडेंसे आयोडिनचे खडे घेऊन त्यांस तापवा. नळींतील आयोडिनच्या खड्याची जांभळ्या रंगाची वाफ होते असें दिसेल.

वरील प्रयोगांवरून असें दिसून येईल कीं, उष्णतेनें पदार्थांच्या स्थितींत बदल होतो.

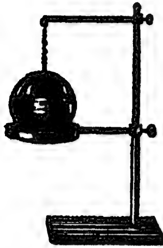
(२) पदार्थास उष्णता दिल्यानें त्याचें उष्णमान वाढतें—

एका भांड्यांत थोडेंसें पाणी घेऊन त्यास उष्णता द्या. तें पाणी तापेल व त्यांत हात घातल्यास आपला हात भाजेल. याचप्रमाणें तांबें, लोखंड वगैरे पदार्थ तापविले म्हणजे ते गरम होतात अथवा त्याचें उष्णमान वाढतें.


आकृति १

(३) उष्णतेनें पदार्थ प्रसरण पावतात-

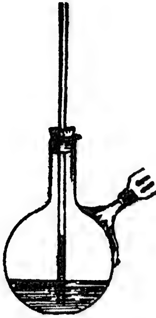
प्रयोग ४—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें जो एका पितळी पट्टीच्या खांचेंत बरोबर बसेल व ज्याचें एक टोंक पट्टींतील छिद्रांत बसेल असा गजाचा तुकडा घ्या. त्यास चांगलें तापवा. नंतर तो त्या खांचेंत बसतो का पाहा, त्याचप्रमाणें त्याचें टोंक त्या छिद्रांत बसतें का पाहा. तो गजाचा तुकडा खांचेंत बसत नाहीं व त्याचें टोंक छिद्रांत जात नाहीं असें तुम्हांस आढळेल. यावरून उष्णतेनें गजाची लांबी व त्याच्या टोंकाचें क्षेत्रफळ वाढतें हें सिद्ध होतें.


आकृति २

प्रयोग ५—एकाद्या कडींतून जेमतेम आरपार जाऊं शकेल असा एक पितळी गोळा घ्या व त्यास खूप तापवा. तापविल्यानंतर तो गोळा त्या कडींतून जातो का पाहा. तो कडींतून जात नाहीं असें आढळेल. यावरून गोळ्याचें आकारमान वाढलें असलें पाहिजे.


आकृति ३

प्रयोग ६—एक चंबू घ्या. त्यास घट्ट बसेल असें बूच घेऊन त्यांत एक लांब कांचेची नळी बसवा. चंबू रंगीत पाण्यानें पूर्ण भरून त्यास तें बूच बसवा म्हणजे रंगीत पाणी नळींत येईल. नळींतील पाण्याची पातळी कोठें आहे ती पाहा. चंबूस तिवईवर ठेवून हळूहळू उष्णता द्या. नळींतील पाणी वर चढतांना दिसेल. याचप्रमाणें पाण्याचे ऐवजीं निरनिराळे द्रव घेऊन प्रयोग करा. ते द्रव देखील तापविले असतां नळींत वर चढताना आढळतील. यावरून द्रव पदार्थ तापविले तर त्यांचें आकारमान वाढतें हें सिद्ध होतें.


आकृति ४

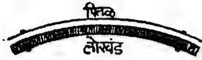
प्रयोग ७—एक चंबू घ्या. त्यास घट्ट बसेल असें बूच घेऊन त्यांत एक कांचेची लांब नळी बसवा. चंबूत थोडें रंगीत पाणी घालून त्यास बूच बसवा. बुचांत बसविलेली नळी चंबूच्या बुडापर्यंत जाऊं द्या. चंबूच्या रिकाम्या भागास थोडी उष्णता द्या. रंगीत पाणी नळींत वर चढतांना दिसेल. चंबूतील पोकळ भागास उष्णता लागल्यामुळें तेथील हवा प्रसरण पावली व तिला वाढण्यास जागा नसल्यामुळें ती पाण्यास खालीं दाबूं लागली म्हणून नळींत पाणी वर चढूं लागलें.

प्रयोग ८—वरील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें एक रिकामाचंबू घ्या व पाण्यानें भरलेल्या भांडयांत त्याची नळी बुडेल अशा रीतीनें त्यास उलटा धरा. चंबूला दिव्यानें उष्णता द्या. पेल्यांतून हवेचे बुडबुडे निघतांना दिसतील. बुडबुडे निघण्याचें कारण उष्णतेनें हवा प्रसरण पावली असली पाहिजे हें होय.

यावरून वायुरूप पदार्थ उष्णतेमुळें प्रसरण पावतात हें सिद्ध होतें. पदार्थांच्या कणांत एक प्रकारचें आकर्षण असतें. हें आकर्षण परस्पर असतें. एका पदार्थाच्या कणांत असणाऱ्या या आकर्षणास समाकर्षण Cohesion म्हणतात. द्रव पदार्थांच्या कणांत तें घन पदार्थांतील कणांपेक्षां कमी असतें व वायुरूप पदार्थांच्या कणांत तें द्रव पदार्थांतील कणांपेक्षांहि कमी असतें. पदार्थांचे स्थितींत बदल करणें, अथवा त्यांचें आकारमान वाढविणें म्हणजे हें आकर्षण कमी करण्यासारखें आहे. तें कमी करण्याकरतां शक्तीची आवश्यकता आहे. उष्णतेमुळें हीं कार्यें होतात म्हणून **ज्या शक्तीमुळें पदार्थांच्या स्थितींत बदल होतो, पदार्थांचें उष्णमान वाढतें, आकारमान वाढतें व पदार्थांचे भौतिक गुणधर्मांत** (घनता, विद्युत्-रोधकता) **फरक होतो त्या शक्तीस ‘ उष्णता ’ असें म्हणतात.**

सारख्याच आकारमानाचे सर्व पदार्थ सारख्याच उष्णतेनें सारखेच प्रसरण पावत नाहींतः—

प्रयोग ९—सारख्याच आकाराचे तीन चंबू घेऊन त्यांस घट्ट बसतील अशीं बुचें घ्या. प्रत्येक बुचांत सारख्याच व्यासाचीं छिद्रें असणाऱ्या लांब नळ्या बसवा. एका चंबूंत पाणी, दुसऱ्यांत स्पिरिट व तिसऱ्यांत रॉकेल भरून चंबूंना बुचें लावा. तिन्ही चंबूंत असणाऱ्या द्रवांची नळ्यांतील उंची सारखीच असूं द्या. हे तिन्ही चंबू एका गरम पाण्याच्या भांड्यांत सारखेच बुडतील असे धरा. कांहीं वेळानें द्रवाची नळ्यातील उंची पाहा. ती वेगवेगळी आहे असें दिसेल. यावरून असें सिद्ध होतें कीं सारख्याच आकारमानाचे द्रव सारखीच उष्णता दिली असतां सारखेच प्रसरण पावत नाहींत.



आकृति ५

प्रयोग—लोखंड व पितळ यांच्या सारख्याच लांबीच्या पट्ट्या घेऊन त्या खिळवून टाका. ह्या जोडपट्टीस दिव्यानें उष्णता द्या. ती पट्टी वाकलेली आहे व वाकाच्या बाहेरील अंगास पितळ व आंतील अंगास लोखंड आहे असें दिसेल. पट्टी कोणत्याही बाजूनें तापविली तरी वांकाच्या बाहेरील भागास पितळ व आतील भागास लोखंड असेंच नेहमीं राहील. म्हणजे सारख्याच उष्णतेनें पितळ लोखंडापेक्षां अधिक प्रसरण पावते. यावरून सारख्याच लांबीच्या घन पदार्थास सारखीच उष्णता दिली असतां त्यांचें प्रसरण सारखेंच होत नाहीं असें दिसेल.

उष्णमान. (Temperature):—

कोणताही पदार्थ तापविला असतां त्याचे स्थितींत बदल होतो, त्याचें आकारमान वाढतें, इत्यादि उष्णतेमुळें होणारे परिणाम सर्वांस माहीत आहेतच. या परिणामांचा पदार्थांचें उष्णमान (उष्णताविषयक स्थिति) मोजण्याचे कामीं उपयोग करतां येईल.

ज्या मानानें पदार्थ कमी जास्त तापला असेल त्या मानानें त्याचें उष्णमान कमी जास्त असतें. आपणास ही गोष्ट स्पर्शज्ञानानें समजण्यासारखी आहे. पण स्पर्शज्ञानानें मिळालेली माहिती नेहमीं बरोबर असते असें नाहीं.

प्रयोग १०—कांचेचे तीन पेले घ्या. एकांत ऊन पाणी, दुसऱ्यांत कोमट पाणी व तिसऱ्यांत थंड पाणी घ्या. डावा हात ऊन पाण्यांत व उजवा हात थंड पाण्यांत ठेवा. कांहीं वेळानंतर दोन्हीहि हात कोमट पाण्यांत ठेवा. डाव्या हातास तें पाणी थंड लागेल, व उजव्या हातास तेंच पाणी ऊन लागेल. यावरून असें सिद्ध होतें कीं, **स्पर्शज्ञानानें मिळालेली माहिती विश्वसनीय असत नाहीं.**

एकाच खोलींत असलेल्या लोखंडी व लांकडी गजास हात लाविल्यास थंडीच्या दिवसात लोखडी गज लांकडी गजांपेक्षां अधिक थंड लागतात, पण उन्हाळ्यांत याच्या उलट अनुभव येतो. वास्तविक एकाच खोलींत ठेवलेल्या वस्तूंचें उष्णमान एकच असतें. यावरूनही, वरील विधानच सिद्ध होतें.

स्पर्शज्ञानानें मिळविलेली माहिती विश्वसनीय नसल्यानें उष्णमान मोजण्याचें इतर कांहीं तरी साधन असणें अवश्य आहे.

उष्णतेमुळें पदार्थांच्या आकारमानांत व उष्णमानांत वाढ होते व जसजशी उष्णता अधिक दिली जाते तसतशी उष्णमानाची व आकारमानाची वाढही अधिक होते; अथवा उष्णतेमुळें उष्णमान आणि आकारमान यांची सम प्रमाणातच वाढ होते. ह्या गुणधर्माचा उष्णमानमापक यंत्र (Thermometer) तयार करण्याचे कामीं उपयोग केला आहे. ज्या पदार्थांचें आकारमान थोड्याशा उष्णतेनें पुष्कळ वाढतें असे पदार्थ उष्णमानमापक यंत्र तयार करण्यास चांगले असतात. त्यांच्या आकारमानांत थोड्या उष्णतेनें पुष्कळ वाढ होत असल्यानें त्या पदार्थांच्या उष्णमानांत थोडा फरक झाला तरी तो सहज दिसण्यासारखा असतो. असे पदार्थ म्हणजे वायुरूप पदार्थ होत. यांचा उपयोग करणें फार कठीण आहे. वायुरूप पदार्थांचें आकारमान पाहण्यास त्रास पडतो एवढेंच नव्हे तर त्यांचें आकारमान, उष्णमानात फरक न करतां देखील,

केवळ त्यांचेवर असलेल्या दाबांत फरक केल्यानें बदलतें; म्हणून वायुरूप पदार्थांचे ऐवजीं द्रव पदार्थांचा उपयोग करणें श्रेयस्कर असतें.

उष्णमानमापक यंत्र तयार करण्याकरतां द्रवपदार्थ योग्य असल्यानें तो द्रवपदार्थ ठेवण्यास भांड्याची जरूरी आहे. हें भांडें पारदर्शक असून त्याचें प्रसरण आतील द्रवाच्या प्रसरणापेक्षा पुष्कळच कमी असावें. ह्या भांड्यास खालचे बाजूस एक फुगा व त्याचे वर एक बारीक छिद्राची नळी असावी. फुगा असल्यानें भांड्यांत असणाऱ्या द्रवाचें प्रमाण वाढेल व लहान छिद्राच्या नळीमुळें थोडेंसें प्रसरण देखील स्पष्ट दिसेल. बुचांत हें यंत्र सहज बसविता यावें म्हणून त्याचा फुगा लांबट आकाराचा असावा. हा फुगा फार मोठा असूं नये. फुगा मोठा असल्यास त्यांतील पारा तापविण्याकरतां बरीच उष्णता खर्च होईल व म्हणून पदार्थाचे उष्णमान बरोबर कळणार नाहीं.

उष्णमानमापक यंत्रांत वापरावयाच्या द्रवांत अवश्य असणारे गुण.

(१) तो द्रव नळीस न चिकटणारा असला पाहिजे.

(२) तो नळींतून स्पष्ट दिसणारा असला पाहिजे.

(३) त्याचें प्रसरण नियमित असलें पाहिजे.

(४) तो थोड्या उष्णतेनें तापणारा असला पाहिजे.

(५) तो शीघ्र उष्णतावाहक असला पाहिजे.

(६) तो थोड्या थंडीनें न गोठणारा व थोड्या उष्णतेनें वायुरूपांत न जाणारा असा पाहिजे.

पाऱ्याच्या अंगीं यांतील बहुतेक सर्व गुण आहेत म्हणून उष्णमानमापक यंत्रांत पाऱ्याचा उपयोग करतात; पण पारा ३९° सें. उष्णमानावर गोठत असल्यानें ३९° सें. पेक्षां कमी उष्णमान मोजावयाचें झाल्यास उष्णमानमापकांत पाऱ्याच्या ऐवजीं मद्यार्क वापरतात.

उष्णमानमापक यंत्राची (Thermometer) नळी भरणें.

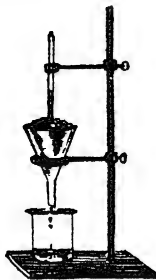


आ. ६

एका टोंकास फुगा व दुसऱ्या टोंकास चाडी असलेली बारीक छिद्राची काचेची नळी घेऊन तिचे चाडींत थोडा स्वच्छ पारा भरा. नळीचें छिद्र बारीक असल्यानें व नळींत हवा असल्यानें तिच्यांत पारा शिरणार नाहीं. फुग्यास उष्णता द्या म्हणजे फुग्यांतील हवा प्रसरण पावून बुडबुड्याच्या रूपानें पाऱ्यांतून बाहेर पडेल व नळी थंड झाल्यावर, तिची जागा भरून काढण्याकरतां पारा नळींत शिरेल. अशा रीतीनें तापविण्याची व निवविण्याची क्रिया पुनः पुनः करून फुगा आणि नळीचा कांहीं भाग पाऱ्यानें भरून घ्या. नळींतील पारा उकळेपर्यंत तापवा म्हणजे नळींतील हवा पूर्णपणें निघून जाईल व नळींत फक्त पारा व त्याची वाफ शिल्लक राहील. त्या उष्णमानमापकानें जास्तींत जास्त जें उष्णमान मोजावयाचें असेल त्यापेक्षां अधिक उष्णमानाच्या द्रवांत ती नळी उभी धरा. पारा जेथपर्यंत आला असेल त्याचे वर फुंकणी (Blow pipe) नें फुंकून नळी बंद करा. अशा रीतीनें तयार केलेली नळी खुणा करण्यापूर्वी कांहीं दिवस तशीच राहूं द्या.

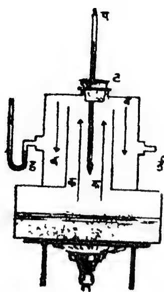
उष्णमानमापकाचे ध्रुव बिंदु ठरविणेः—

प्रयोग ११—एक कांचेची चाडी घेऊन ती आकृतींत दाखविल्या-प्रमाणें आधारा (Stand) च्या कडींत बसवा. उष्णमानमापकाच्या नळीपेक्षां किंचित् जाड अशी काचेची नळी त्या चाडींत उभी धरून तिच्या भोंवतीं शुद्ध बर्फाचा भुगा भरा. नळी काढून घेऊन तिच्या जागीं उष्णमानमापकाची नळी ठेवा व बर्फाच्या भुग्यानें ती नीट झांका. नळींतील पारा हळूहळू खालीं घसरतांना दिसेल. नळींतील पारा दिसत नसल्यास तो बर्फाचे वर दिसूं लागेतों उष्णमानमापकाची नळी हळूच वर ओढा. पाऱ्याची पातळी वेळोवेळीं पाहा व ती जेथें स्थिर होईल तेथें कानशीनें बारीक खूण करा. म्हणजे उष्णमानमापकाचा खालचा ध्रुव बिंदु मिळेल. यास पाणी **गोठण्याचा बिंदु**



आकृति ७

(Freezing point) **म्हणतात.** हा सेंटिग्रेड उष्णमानमापकावर ०° व फॅरनहीटवर ३२° नें दर्शवितात.



आकृति ८

प्रयोग १२—उष्णमानमापकाची नळी नंतर आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें हिप्सोमिटर(Hypsometer) घेऊन त्याच्या 'ट' या बुचांत घट्ट बसवा. भांड्यांतील पाणी तापवा व त्यास उकळूं द्या. पाण्याची वाफ 'क' या नळकांड्यांतून वर जाईल व 'ब ब' भागांत जाऊन 'क' नळकांड्यांभोंवती फिरेल आणि 'ई' या मार्गानें बाहेर जाईल. 'ड' ही वक्रनलिका वाफेचा दाब दाखविण्याकरतां असते. 'ई' मधून वाफ बाहेर येऊं लागली म्हणजे उष्णमानमापकाची नळी तिच्यांतील पाऱ्याची सपाटी बुचाचे थोडी वर राहीतों आंत घाला. तिच्या फुग्याला पाण्याचा स्पर्श होऊं न देण्याची काळजी घ्या. पारा स्थिर झाला म्हणजे असें आढळून येईल कीं 'ड' नळींतील रंगीत द्रवाची उंची दोन्ही अंगांस सारखीच आहे. यावरून असें दिसेल कीं पाणी उकळूं लागलें म्हणजे त्याच्या वाफेचा दाब वातावरणाच्या दाबाइतका असतो. पारा ज्या जागीं स्थिर होईल तेथें कानशीनें दुसरी खूण करा. म्हणजे उष्णमानमापकाचा वरचा ध्रुव बिंदु मिळेल. यास **पाण्याचा क्वथनबिंदू** (Boiling point) म्हणतात. वातावरणाचा दाब ७६० मि. मी. इतका असतां हा स्थिरबिंदु सेंटिग्रेड उष्णमानमापकात १०० व फॅरनहीट मध्यें २१२ या आकड्यांनीं दर्शवितात.

पाणी गोठण्याचें उष्णमान व ७६० मि. मी. दाबाखालीं उकळणाऱ्या पाण्याच्या वाफेचें उष्णमान या दोन स्थिर उष्णमानांतील फरकास उष्णमान मोजण्याचें माप (unit) मानतात. हें माप फार मोठें असल्यानें याचे सेंटिग्रेड उष्णमानमापकांत १००, फॅरनहीटमध्यें १८० व रूमरमध्यें ८० याप्रमाणें निरनिराळया शास्त्रज्ञांनीं लहान विभाग केले आहेत. या प्रत्येक विभागास अंश असें म्हणतात.

ज्याप्रमाणें निरनिराळ्या देशांत निरनिराळी चलनपद्धति असल्यानें एका देशांतील चलनांचें दुसऱ्या देशांतील चलनांत रूपांतर करावें लागतें, त्याचप्रमाणें उष्णमानमापकार खुणा करण्याच्या पद्धती वेगवेगळ्या असल्यानें एका पद्धतींतील वाचनाचें दुसऱ्या पद्धतींतील वाचनांत रूपांतर करणें अवश्य असतें.



आकृति ९

प्रयोग १३—'अब' ही एक सरळ रेषा घ्या. तिच्यावर 'क' बिंदु घ्या. 'अक' आणि 'अब' याची लांबी इंचांत व सेंटिमीटरमध्यें मोजा, व $\frac{\text{अक}}{\text{अब}}$ याची किंमत काढा. ती दोन्ही वेळीं एकच येते असें दिसेल.

यावरून दोन अंतरांचें गुणोत्तर तीं अंतरें कोणच्या मापानें मोजलीं आहेत यावर अवलंबून नसतें.

बाजूचे आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एकाच उष्णमान-मापकावर फॅरनहीट व सेंटिग्रेडच्या खुणा एकदम पाहतां येतील अशी योजना केलेली आहे. आकृतीवरून असें दिसेल कीं,

$$\text{अक} = \text{फॅ} - ३२ = \text{सें} - ०$$

$$\text{अब} = २१२ - ३२ = १०० - ०$$

$$\therefore \quad \frac{\text{अक}}{\text{अब}} = \frac{\text{फॅ} - ३२}{२१२ - ३२} = \frac{\text{सें} - ०}{१०० - ०}$$

$$\therefore \frac{\text{फॅ} - ३२}{१८०} = \frac{\text{सें}}{१००}$$

$$\text{अथवा फॅ} - ३२ = \frac{९}{५}\,\text{सें}$$

$$\text{अथवा फॅ} = \frac{९}{५}\,\text{सें} + ३२$$

$$\text{आणि सें.} = \frac{५}{९}\,(\text{फॅ} - ३२).$$

उदाहरण १ लें. ५०° फॅ. बरोबर किती अंश सेंटिग्रेड ?

$$सें = \frac{५}{९} (फॅ - ३२)$$
$$= \frac{५}{९} (५० - ३२)$$
$$= \frac{५}{९} \times १८$$
$$= १०$$
$$\therefore ५०^\circ फॅ = १०^\circ सें$$

उदाहरण २ रें. – १३° फॅ. बरोबर किती अंश सेंटिग्रेड ?

$$सें. = \frac{५}{९} (फॅ - ३२)$$
$$= \frac{५}{९} (- १३ - ३२)$$
$$= \frac{५}{९} \times - ४५$$
$$= - २५$$
$$\therefore - १३^\circ फ. = - २५^\circ सें.$$

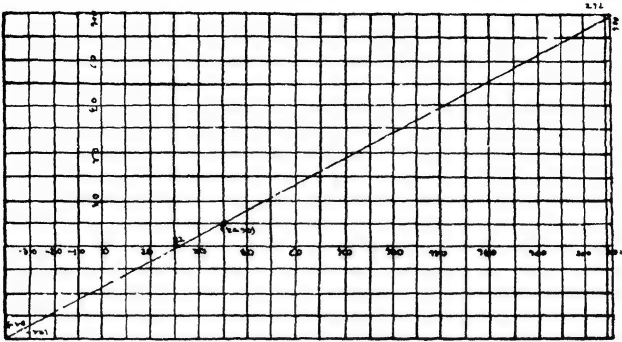
उदाहरण ३ रें. १५° सेंटिग्रेडचें फॅरनहीटमध्यें रूपांतर करा.

$$फॅ = \frac{९}{५} सें. + ३२$$
$$= \frac{९}{५} \times १५ + ३२$$
$$= २७ + ३२$$
$$= ५९$$
$$\therefore १५^\circ सें = ५९^\circ फॅ.$$

याचप्रमाणें फॅरनहीटचें रूमरमध्यें व रुमरचें फॅरनहीटमध्यें $\frac{फॅ - ३२}{१८०} = \frac{रु}{८०}$.या सूत्राचे सहाय्यानें रूपांतर करतां येईल.

हेंच रूपांतर आलेख पत्राच्या सहाय्यानें सहज करतां येतें. एकमेकींशीं काटकोन करून दोन रेषा काढा व त्यांच्या छेदनबिंदूपासून एका रेषेवर सेंटिग्रेड व दुसरीवर फॅरनहीटच्या खुणा करा. त्या आलेख पत्रांवर

सेंटिग्रेड



फॅरीनहीट आकृति १०



०° सें., ३२° फॅ.; १००° सें., २१२° फॅ.; १०° सें., ५०° फॅ.; आणि – २५° सें. – १३° फॅ.; हे चार बिंदु निश्चित करा; व त्यांच्या सहाय्यानें आलेख काढा. या आलेखावरून असें सहज दिसून येईल कीं ३०° सें. = – ८६° फॅ. आणि –४०° फॅ. = – ४०° सें.

आतांपर्यंत केलेल्या उष्णमानमापकाच्या वर्णनावरून हें सहज लक्षांत येईल कीं जोंपर्यंत उष्णमानमापक यंत्र पदार्थास लागून असतें तोंपर्यंतच तें त्या पदार्थाचें उष्णमान दाखवितें. त्या पदार्थाचा व त्याचा संबंध नाहींसा झाला म्हणजे ज्या मानानें बाजूच्या हवेचें उष्णमान कमी किंवा जास्त असेल त्या मानानें त्यांत फरक होतो. ताप आलेल्या माणसाचा ताप पाहाण्यास जर साधें उष्णमानमापक यंत्र वापरलें तर त्या मनुष्याच्या कांखेंतून अथवा तोंडातून तें बाहेर काढतांच त्यांत फरक पडूं लागेल व त्या मनुष्याचें खरें उष्णमान कळणार नाहीं; म्हणून आपणास निराळ्या प्रकारचें उष्णमानमापक यंत्र वापरणें अवश्य आहे.

डॉक्टरचें उष्णमानमापक. (Clinical Thermometer):—
डॉक्टरच्या उष्णमानमापकांत अशी योजना केलेली असते कीं तें जरी माणसाच्या कांखेंतून काढलें तरी देखील तें त्या

आकृति ११

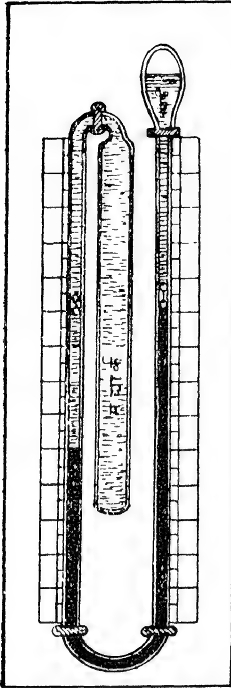
माणसाचें उष्णमान बरोबर दाखवितें, म्हणजे ज्या खुणेपर्यंत पारा चढला असेल त्यापेक्षां बाहेरील हवेचें उष्णमान कमी असलें तरी तो खालीं जात नाहीं.

या उष्णमानमापकांत फुगा व नळी यांचे मधील नळीचा भाग किंचित् दाबलेला व वांकडा केलेला असतो. उष्णमान वाढलें असतां पारा त्याच्या प्रसरणशक्तीमुळें त्या चिंचोळया भागांतून वर जाऊं शकतो; पण उष्णमान कमी झाल्यास मात्र, पारा नळींतून फुग्यांत जाऊं शकत नाहीं. त्यामुळें तो ज्या खुणेपर्यंत चढला असेल तेथेंच स्थिर राहतो व त्या माणसाचें उष्णमान त्यानंतर केव्हांही पाहतां येतें. मनुष्याचें उष्णमान कमींत कमी ९५° फॅ. व जास्तींत जास्त ११०° फॅ. यांचे दरम्यान असल्यानें या उष्णमानमापकावर ९५° फॅ. पासून ११०° फॅ. पर्यंतच खुणा केलेल्या असतात. सर्वसाधारण निरोगी माणसाचें उष्णमान ९८.६° फॅ. असतें व हें उष्णमान दाखविण्याकरतां या यंत्रावर बाण काढलेला असतो.

महत्तम व लघुतम उष्णमानमापक यंत्र (Maximum and Minimum Thermometer):--

या उष्णमानमापकाचा उपयोग ठराविक मुदतींत जास्तींत जास्त व कमींत कमी किती उष्णमान झालेलें असतें तें दाखविण्याचा असतो. या यंत्राचा आकार इंग्रजी U सारखा असतो. या U नळीच्या खालच्या भागांत पारा भरलेला असतो. मध्यभागीं असलेला फुगा आणि डावीकडील नळीचा पाण्यापर्यंतचा भाग हे मद्यार्कानें भरलेले असतात. त्याचप्रमाणें उजवीकडील नळीचा पाऱ्यावरील भाग व उजवीकडील फुग्याचा अर्धा भाग हेही मद्यार्कानें भरलेले असतात. या फुग्याच्या रिकाम्या भागांत मद्यार्काची वाफ असते. पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर तरंगणारे दोन पोलादी दर्शक दोन्हीकडील नळयांत ठेवलेले असतात. हे दर्शक खालीं घसरूं नयेत म्हणून याना पोलादी कमानी (Springs) बसविलेल्या असतात.

उष्णमान वाढलें म्हणजे मध्यभागीं असलेल्या फुग्यांतील मद्यार्क प्रसरण पावतो व त्यास वाढण्यास जागा नसल्यानें तो डावीकडील नळींतील पाऱ्यास खालीं दाबतो. हा पारा उजवीकडील नळींत वर चढतो व त्यावर असणाऱ्या दर्शकास वर ढकलतो. वाढतें उष्णमान दाखविण्याकरतां उजवीकडील नळीवर खालून वर वाढत्या क्रमानें खुणा केलेल्या असतात. थंडीनें जेव्हां मध्यभागीं असलेल्या फुग्यांतील मद्यार्क आकुंचन पावतो त्या वेळीं डावीकडील नळींत पारा वर चढूं लागतो पण उजवी-कडील नळींत असणारा दर्शक मात्र जागच्या जागींच राहतो. कमी उष्णमान झालें असतां डावीकडील नळींत पारा वर चढतो व त्यामुळें दर्शकही वर जातो म्हणून ह्या नळीवरील खुणा वरून खालीं वाढत्या क्रमानें केलेल्या असतात. हें यंत्र कांहीं ठराविक मुदतींतील महत्तम व लघुतम उष्णमान दाखवितें; म्हणून निरीक्षण केल्यावर प्रत्येक वेळीं दर्शक पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर त्यास चिकटवून ठेवावे लाग-तात. हें कार्य लोहचुंबकानें सहज करतां येतें. ह्यांतील दर्शक पाऱ्यानें वर सरकत असल्यानें दर्शकाचें खालचें टोंक ज्या खुणेवर असेल तितके अंश उष्णमान आहे असें समजावें.



आकृति १२.

प्रश्नसंग्रह १ ला

१. उष्णतेमुळें पदार्थांवर होणारे मुख्य परिणाम कोणचे? यांपैकीं कोणच्या परिणामाचा पाऱ्याचे उष्णमानमापक यंत्र तयार करण्याचे कामीं उपयोग करतात?

२. सारख्याच लांबीचा पितळी आणि लोखंडी गज सारखाच तापविला असता पितळी गज लोखंडी गजापेक्षा अधिक प्रसरण पावतो हें कसें सिद्ध कराल? प्रयोग लिहा.

३. उष्णमानमापक यंत्र कसें तयार कराल?

४. उष्णमानमापकावरील ध्रुव बिंदु बरोबर आहेत किंवा नाहींत हें तुम्हीं कसें तपासून पाहाल?

५. पाण्याचा क्वथनबिंदु कसा ठरवाल? फार उंच पर्वतावर डाळ नीट कां शिजत नाहीं?

६. कांहीं उष्णमानमापकांत पारा व कांहींत मद्यार्क वापरतात तें कां?

७. उष्णमानमापकांस फुगा कशाकरितां असतो? त्यांच्या नळ्या बारीक छिद्रांच्या कां असतात व फुगा मोठा कां असत नाहीं?

८. १४° फॅ. २२° फॅ. यांचें सेंटिग्रेडमध्यें रूपांतर करा.

४०° सें., – ३०° सें. यांचे फॅरनहीटमध्यें रूपांतर करा.

९. पाण्याचा क्वथनबिंदु नेहमींच १००° सें. असतो कां?

१०. महत्तम आणि लघुतम उष्णमानमापकाचें वर्णन लिहा.

११. उष्णमानमापकाचा फुगा गरम पाण्यांत बुडविल्यास पारा पाहिल्यानें थोडा खालीं घसरतो व मग चढूं लागतो असें कां?

१२. ज्या उष्णमानावर सेंटिग्रेड पद्धतींतील उष्णमान दर्शक आंकडा फॅरनहीट पद्धतींतील उष्णमानदर्शक आंकड्याच्या (१) बरोबर (२) दुप्पट, आणि (३) तिप्पट होईल अशीं उष्णमानें काढा.

प्रकरण २ रें.

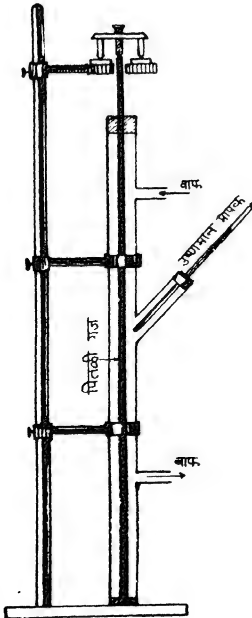
प्रसरणगुणक.

घनपदार्थ तापविले असतां त्यांच्या लांबींत, क्षेत्रफळांत व आकारमानांत वाढ होते, ही गोष्ट आपण मागील प्रकरणीं पाहिलीच आहे. त्याचप्रमाणें सर्व पदार्थांच्या वाढीचें प्रमाण सारखें नसतें हेंहि आपणास माहीत आहे. घनपदार्थांचे बाबतींत लांबींत होणारी वाढ जास्त महत्त्वाची असल्यानें ती कशी मोजतात याचा आपण पहिल्यानें विचार करूं.

एकमाप लांबीचा पदार्थ ०° सें. पासून १° सें. पर्यंत तापविला असतां त्याच्या लांबींत जी वाढ होते त्या वाढीस त्या पदार्थाचा लांबीचा प्रसरण गुणक (Coefficient of linear expansion) म्हणतात. अथवा

$$\text{लांबीचा प्रसरण गुणक} = \frac{\text{पदार्थ } 0^\circ \text{ सें. पासून } 1^\circ \text{ सें. पर्यंत तापविला असता त्याच्या लांबींत होणारी वाढ.}}{\text{पदार्थाची } 0^\circ \text{ सें. उष्णमानावरील लांबी.}}$$

प्रसरणगुणक ठरविणें:—



आकृति १३

प्रयोग १४—सुमारें अर्धा मीटर लांबीचा एक पितळी गज घ्या. त्याचीं दोन्ही टोंकें घांसून सपाट करा. त्याची लांबी मोजपट्टीनें बरोबर मोजा. हा गज आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें रुंद तोंडाच्या नळींत बुचांच्या सहाय्यानें बसवा. कांचेच्या नळीच्या मध्यभागीं असलेल्या छिद्रांत बुचाच्या सहाय्यानें एक उष्णमानमापक बसवा. गजाचें खालचें टोंक स्टॅंडच्या बैठकीवर टेकूं द्या म्हणजे गज या बाजूनें वाढणार नाहीं. सपाट बैठकीवर गोलतामापक (Spherometer) ठेवा. त्याचा मधला स्करू फिरवून तो गजाचे वरचे टोंकास टेकूं द्या. त्या वेळीं गोलतामापकाचें वाचन घ्या. गोलतामापकाचा स्करू फिरवून वर न्या व कांचेच्या नळींत वाफ सोडा. उष्णमानमापक स्थिर उष्णमान दाखवूं लागलें म्हणजे उष्णमान पाहा.

गोलतामापकाचा स्क्रू खालीं आणून गजास टेकूं द्या व गोलतामापकाचें पुनः वाचन घ्या.

समजा सुरवातीची गजाची लांबी ... ...५०·२ सें. मी.
गजाच सुरवातीचें उष्णमान ... ...२५° सें.
गज तापविल्यावर त्याचें उष्णमान ... ...९९·५° सें.
गोलतामापकाचें पहिलें वाचन... ... ...३·७६ मि. मी.
गोलतामापकाचें दुसरें वाचन ... ...४·४७ मि. मी.
उष्णमानांतील वाढ (९९·५–२५) ... ...७४·५० सें.
लांबींत झालेली वाढ (४·४७–३·७६) ...०·७१ सें. मी.
५०·२सें.मी.लांबीचा गज७४·५° तापविला तर ०·७१ सें.मी.वाढतो

∴ १ ,, ,, ,, ७४·५° ,, ,, $\frac{\cdot ७१}{५०\cdot २}$ सें.मी.वाढेल

१ सें.मी.लांबीचा गज७४·५° तापविला तर $\frac{\cdot ७१}{५०\cdot २}$ सें.मी.वाढतो

∴ १ ,, ,, ,, १° ,, ,, $\frac{\cdot ७१}{५०\cdot २ \times ७४\cdot ५}$ सें.मी ,,

= ·००००१९सें.मी.वाढेल.

म्हणून पितळेचा प्रसरणगुणक = ·००००१९.

वरील उदाहरणावरून लांबीचा प्रसरण गुणक काढण्याचें सूत्र तयार करतां येईल.

समजा गजाची पहिली लांबी ...... $लां_1$
गजाची तापविल्यानंतरची लाबी ...... $लां_2$
गजाचें सुरवातीचें उष्णमान ...... $उ_1$
गजाचें तापविल्यानंतर उष्णमान ...... $उ_2$

$लां_1$ एवढया लांबीचा गज $उ_2 – उ_1$ अंश तापविला तर $लां_2 – ला_1$ इतकी वाढ होते.

$\therefore$ १ लांबीचा गज $उ_२ - उ_१$ अंश तापविला तर

$$\frac{लां_२ - लां_१}{ला_१}$$ इतका वाढेल.

$\therefore$ १ लांबीचा गज १° तापविला तर

$$\frac{लां_२ - लां_१}{लां_१ \times (उ_२ - उ_१)}$$ इतका वाढेल.

$$\therefore \text{प्रसरणगुणक(समजा क्ष)} = \frac{\text{एकंदर वाढ}}{\text{सुरवातीची लांबी} \times \text{उष्णतामानातील फरक}}$$

$$= \frac{लां_२ - लां_१}{ला_१ (उ_२ - उ_१)}$$

वरील सूत्रांतील अपूर्णांक काढून टाकल्यास

$$क्ष \times लां_१ \times (उ_२ - उ_१) = लां_२ - लां_१$$

पक्षांतर करून $क्ष \times लां_१ \times (उ_२ - उ_१) + लां_१ = लां_२$

$$\text{अथवा } लां_२ = लां_१ + लां_१ \times क्ष\ (उ_२ - उ_१)$$

$$= लां_१ [\,१ + (उ_२ - उ_१)\, क्ष\,]$$

थावरून प्रसरणगुणक, गजाची सुरवातीची लांबी आणि उष्णमानांतील फरक माहीत असल्यास त्याची तापविल्यानंतरची लांबी काढतां येईल.

(१) एका लोखंडी गजाची १०° सें. उष्णमानावर १५१२·४५ फूट लांबी आहे. त्यास ४०° सें. पर्यंत तापविला तर त्याची लांबी १५१३ फूट होते, तर लोखंडाचा प्रसरणगुणक काय ?

$$\text{प्रसरणगुणक} = \frac{\text{एकंदर वाढ}}{\text{सुरवातीची लांबी} \times \text{उष्णमानातील फरक}}$$

$$= \frac{१५१३ - १५१२{\cdot}४५}{१५१२{\cdot}४५ \times (४० - १०)}$$

$$= \frac{{\cdot}५५}{१५१२{\cdot}४५ \times ३०}$$

$$= \frac{{\cdot}५५}{४५३७३{\cdot}५} = {\cdot}०००·०१२$$

(२) एका कापडविक्याजवळ असलेल्या गजाची लांबी ०° सें. उष्णमानावर बरोबर १ यार्ड आहे. ४७° सें. उष्णमानावर त्या गजाची लांबी किती इंच होईल? लोखंडाचा प्रसरण गुणक ·००००१२

१" लांबीचा गज १° सें. तापविला तर त्यांत ·००००१२ इंच वाढ होते.

∴ ३६" „ „ १° सें. „ „ „ ·००००१२×३६" वाढ होईल.

∴ ३६" „ „ ४७° सें. „ „ „ ·००००१२×३६×४७" वाढ „

= ·०२०३०४" वाढ „

∴ गजाची लांबी ३६·०२' होईल.

(३) ३०' लांबीचे रूळ उन्हाळ्यात ६०° सें. उष्णमान असतांना एकमेकांस चिकटून घातले आहेत. हिवाळ्यांत ६° सें. उष्णमान झाल्यास दोन रुळांत फट किती पडेल ? लोखंडाचा प्रसरण गुणक ·००००१२ इतका आहे.

१ फूट लांबीचा रूळ १° थंड झाला असतां त्यात होणारें आकुंचन

= ०·००००१२ फूट होतें.

∴ ३० फूट " " १° " " असतां त्यांत होणारें आकुंचन

= ०·००००१२×३० फट होईल.

= ०·०००३६ फूट

∴ ३० फूट लांबीचा रूळ ५४ (म्हणजे ६० – ६) अंश थंड केल्यास त्यांत होणारें आकुंचन = ०·०००३६ × ५४ फूट

= ०·०१९४४ फूट.

प्रत्येक रूळ एका तोंडाकडून खिळविला आहे अशी कल्पना केल्यास त्याचें जितकें आकुंचन होईल तितकें दुसरें टोंक मागें सरेल व तेवढीच फट पडेल.

(४) एका तांब्याच्या तारेची २५° सें. उष्णमानावरील लांबी तिच्या ५° सें. उष्णमानावरील लांबीपेक्षां ·०३४ सें. मी. नें जास्त आहे. तांब्याचा प्रसरण गुणक ·००००१७ असेल तर त्या तारेची ०° सें. उष्णमानावर लांबी काय असेल ?

एकंदर वाढ = { लांबी २५° सें. उष्णमान असतांना } – { लांबी ५° सें. उष्णमान असतांना }

∴ ·०३४ = लां $_{२५}$ – लां$_{५}$ { लां$_{२५}$ = लां$_{०}$ (१+·००००१७×२५) ; लां$_{५}$ = लां$_{०}$ (१+·००००१७× ५) }

= लां$_{०}$ (१+·००००१७×२५)–लां$_{०}$(१+·००००१७×५)

$= लां_{\circ} \times ०\cdot००००१७ (२५-५)$
$= लां_{\circ} \times ०\cdot००००१७ \times २०$
$= लां_{\circ} \times ०\cdot०००३४$

$\therefore \frac{\cdot ०३४}{\cdot ०००३४} = लां_{\circ}$

अथवा $लां_{\circ}$ = १०० सें. मी.

कांहीं पदार्थांच्या लांबीचे प्रसरणगुणक

तांबें	०.००००१६८	चांदी	०.००००१९२
लोखंड	०.००००१२	जस्त	०.००००२९२
शिसें	०.००००२९२	पितळ	०.००००१९३
प्लॅटिनम	०.००००००८९	कांच	०.०००००८६

वरील कोष्टकावरून दिसून येईल कीं पदार्थांचे लांबीचे प्रसरणगुणक फारच लहान असतात.

क्षेत्रफळाचा प्रसरणगुणकः—

शून्य सें. उष्णमान असलेल्या एकमाप क्षेत्रफळाच्या पदार्थास शून्यापासून एक अंश सें. पर्यंत तापविलें असतां त्याच्या क्षेत्रफळात जी वाढ होते त्या वाढीस त्या पदार्थाच्या क्षेत्रफळाचा प्रसरणगुणक असें म्हणतात.

क्षेत्रफळाचा प्रसरणगुणक लांबीच्या प्रसरणगुणकाच्या दुप्पट असतो—

ज्याची बाजू १ सें. मी. आहे असा पितळी पत्र्याचा चौरस घेऊन त्यास १° सें. पर्यंत तापविलें तर त्याची प्रत्येक बाजू वाढेल व प्रत्येकें बाजूची लांबी (लांबीचा प्रसरण गुणक क्ष असल्यास) १ + क्ष सें. मी. होईल.

$\therefore$ तापविल्यानंतर त्या पत्र्याचें क्षेत्रफळ $(१ + क्ष)^{२}$ चौ. सें. मी.
$= १ + २ क्ष + क्ष^{२}$ चौ. सें. मी. होईल.

$\therefore$ त्यांत झालेली वाढ $= १ + २ क्ष + क्ष^{२} - १$ चौ. सें. मी.
$= २ क्ष + क्ष^{२}$ चौ. सें. मी.

पण ‘ क्ष ’ ची किंमत अतिशय लहान असल्यानें ‘क्ष^{२}’ ची किंमत ‘क्ष’च्या मानानें फारच कमी होईल म्हणून ती सोडून देण्यास हरकत नाहीं.

∴ एकमाप क्षेत्रफळांत झालेली वाढ = २ क्ष

∴ क्षेत्रफळाचा प्रसरणगुणक = २ क्ष

= २ × लांबीचा प्रसरणगुणक.

आकारमानाचा प्रसरणगुणकः—

शून्य सें. उष्णमान असलेला एकमाप आकारमानाचा पदार्थ एक अंश तापविला असतां त्याच्या आकारमानांत जी वाढ होते त्या वाढीस त्या पदार्थाच्या आकारमानाचा प्रसरणगुणक म्हणतात.

आकारमानाचा प्रसरणगुणक लांबीच्या प्रसरणगुणकाच्या तिप्पट असतो—

१ सें. मी. कड असलेला पितळी घन घेऊन त्यास १° सें. पर्यंत तापविलें तर त्याची प्रत्येक कड ‘ क्ष ’ सें. मीटरनें वाढेल. अथवा त्या घनाची बाजू (१+क्ष) सें. मी. होईल

त्याचें आकारमान (१+क्ष)^{३} = १+३ क्ष+३क्ष^{२}+क्ष^{३} घ. सें. मी. होईल.

∴ त्याच्या आकारमानांत झालेली वाढ

= १ + ३ क्ष + ३ क्ष^{२} + क्ष^{३} – १ घ. सें. मी.

= ३ क्ष + ३ क्ष^{२} + क्ष^{३} घ. सें. मी.

∴ आकारमानाचा प्रसरणगुणक (ज्ञ)

ज्ञ = ३ क्ष + ३ क्ष^{२} + क्ष^{३}

परंतु मागें सांगितल्याप्रमाणें क्ष^{२} व क्ष^{३} या अत्यंत लहान संख्या आहेत म्हणून त्या सोडून दिल्या तरी चालेल.

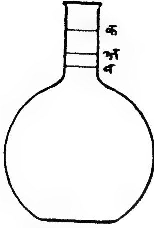
∴ आकारमानाचा प्रसरणगुणक (ज्ञ) = ३ क्ष

म्हणजे आकारमानाचा प्रसरणगुणक = ३ × लांबीचा प्रसरणगुणक.

द्रवपदार्थांचा प्रसरणगुणकः—

द्रवपदार्थांचा प्रसरणगुणक ठरविण्याकरतां ते कांचेसारख्या पारदर्शक पदार्थांच्या भांड्यांत ठेवावे लागतात. उष्णतेनें या भांड्याचें आकारमान वाढत असल्यानें द्रवाचें आपणास दिसणारें प्रसरण हें खऱ्या प्रसरणापेक्षां कमी असतें.

खरें प्रसरण=दृश्य प्रसरण+भांड्याचें प्रसरण हें सिद्ध करणें—



आकृति १४

समजा, सुरुवातीस द्रवाची पातळी ‘ अ ’ नें दर्शविली आहे. चंबू ऊन पाण्याच्या भांड्यांत ठेवल्याबरोबर चंबूस पहिल्यानें उष्णता मिळते व त्यामुळें त्याचें आकारमान वाढतें व द्रवाची पातळी खालीं जाते. समजा, ती ‘ ब ’ नें दर्शविली आहे. नंतर जेव्हा द्रवास उष्णता मिळते तेव्हां त्याचें आकारमान वाढतें व त्याची पातळी ‘ क ’ पर्यंत वाढते. आपणांस द्रवाचें आकारमान ‘ अ ’ पासून ‘ क ’ पर्यंत वाढलेलें दिसतें, पण वास्तविक द्रवाचें आकारमान ‘ ब ’ पासून ‘ क ’ पर्यंत वाढलेलें असतें. म्हणजे द्रवाचें दृश्य प्रसरण हें खऱ्या प्रसरणापेक्षां ‘ अब ’ नें कमी आहे. पण ‘ अब ’ हें केवळ भांड्याचें प्रसरण आहे, म्हणून

खरें प्रसरण = दृश्य प्रसरण + भांड्याचें प्रसरण

∴ खरा प्रसरणगुणक = दृश्य प्रसरणगुणक + भांड्याचा प्र. गुणक.

द्रवाचा दृश्य प्रसरणगुणक ठरविणें—

प्रयोग १५—एक दाढर्यमापक शिशी घेऊन तिचें वजन करा. ज्या द्रवाचा प्रसरणगुणक काढावयाचा असेल त्यानें ती पूर्ण भरा, व बूच लावून तिचें पुन: वजन करा. द्रवाचें उष्णमान पाहा. शिशीचें तोंड पाण्याच्या पृष्ठभागाचे वर राहील अशा रीतीनें तिला उकळत्या पाण्याच्या भांड्यांत लोंबत ठेवा. प्रसरणामुळें तिच्यातून जितका द्रव वाहून जाणें शक्य आहे तितका वाहून गेल्यावर, तिला बाहेर काढून द्रवाला सुरवातीच्या उष्णमानापर्यंत निवूं द्या. तिचें नंतर वजन करा. उकळत्या पाण्याचें उष्णमान पाहा.

निरीक्षणें:—

रिकाम्या दाढर्यमापक शिशीचें वजन	... ३८.५ ग्रॅम	($व_1$)
द्रवानें (पाण्यानें) भरली असतां तिचें वजन	...३६०.२५ ग्रॅ.	($व_2$)
तापवून निवाल्यावर शिशीचें द्रवासहित वजन	...३५६.६७ ग्रॅ.	($व_3$)
द्रवाचें (पाण्याचें) सुरवातीचें उष्णमान	... २५° सें.	($उ_1$)
उकळत्या पाण्याचें उष्णमान	... १००° सें.	($उ_2$)

$$\text{शिशीची धारणाशक्ति} = \frac{\text{बाटलीभर द्रवाचें वजन}}{\text{द्रवाची घनता}}$$

$$= \frac{३६०\cdot२५ - ३८\cdot५}{घ_{२५}} \text{ घ. सें. मी.}$$

($घ_{२५}$ = पाण्याची २५° सें. उष्णमानावर असलेली घनता)

$$\left.\begin{array}{l}\text{तापवून निवल्यानंतर शिशींत}\\ \text{राहिलेल्या पाण्याचें आकारमान}\end{array}\right\} = \frac{३५६\cdot६७ - ३८\cdot५}{घ_{२५}}$$

$\therefore \frac{३५६\cdot६७ - ३८\cdot५}{घ_{२५}}$ घ. सें. मी. पाण्यास २५° सें. पासून १००° सें. पर्यंत तापविलें तर त्यानें ती शिशी पूर्ण भरते म्हणजे त्याचें आकारमान $\frac{३६०\cdot२५ - ३८\cdot५}{घ_{२५}}$ घ. सें. मी. होतें.

$$\therefore \text{पाण्याचा दृश्य प्रसरणगुणक} = \frac{\frac{३६०\cdot२५-३८\cdot५}{घ_{२५}} - \frac{३५६\cdot६७-३८\cdot५}{घ_{२५}}}{\frac{३५६\cdot६७-३८\cdot५}{घ_{२५}} \times (१००-२५)}$$

$$= \frac{\frac{३६०\cdot२५-३५६\cdot६७}{घ_{२५}}}{\frac{३५६\cdot६७-३८\cdot५}{घ_{२५}} \times (१००-२५)}$$

$$= \frac{३६०\cdot२५ - ३५६\cdot६७}{(३५६\cdot६७ - ३८\cdot५) \times ७५}$$

$$= \cdot०००१५$$

$$\therefore \text{द्रवाचा प्रसरणगुणक} = \frac{व_{२} - व_{३}}{(व_{३}-व_{१})(उ_{२}-उ_{१})}$$

(१) बारीक नळी असलेल्या रिकाम्या कांचेच्या फुग्याचें वजन १०४.६४ ग्रॅम आहे. ०° सें. उष्णमानाचा पारा त्यांत भरला असतां त्याचें वजन ७२८.०४ ग्रॅम होतें. गोळ्याचें पाऱ्यासहित वजन ७१७.६२ ग्रॅम होण्यास त्यास किती अंशापर्यंत तापवावें लागेल? [पाऱ्याचा कांचेंतील दृश्य प्रसरणगुणक ०.०००१५५]

समजा त्यास क्ष° सें. पर्यंत तापवावें लागतें.

$$\text{पाऱ्याचा प्रसरणगुणक} = \frac{७२८\cdot०४ - ७१७\cdot६२}{\left\{\begin{matrix}७१७\cdot६२ \\ -१०४\cdot६४\end{matrix}\right\} \times \text{उष्णमानांतील फरक.}}$$

$$= \frac{१०\cdot४२}{६१२\cdot९८ \times \text{क्ष}}$$

$$\therefore \cdot०००१५५ = \frac{१०\cdot४२}{६१२\cdot९८ \times \text{क्ष}}$$

$$६१२\cdot९८ \times \cdot०००१५५ \times \text{क्ष} = १०\cdot४२$$

अथवा $०\cdot०९५\ \text{क्ष} = १०\cdot४२$

" $\text{क्ष} = \frac{१०\cdot४२}{\cdot०९५}$

$$= १०९\cdot६८$$

त्या गोळ्यास १०९·६८° सें. पर्यंत तापवावें लागेल.

वायुरूप पदार्थांचा प्रसरणगुणकः—

घनपदार्थ व द्रवपदार्थ यांचें प्रसरण फारच थोडें होत असल्यानें त्यांच्या प्रसरणगुणकाची व्याख्या देतांना

एकमाप { लांबीच्या / क्षेत्रफळाच्या / आकारमानाच्या } पदार्थास १° सें. तापविलें असतां त्यांत होणारी वाढ म्हटलें तरी चालतें, पण वायूंचें प्रसरण फार होत असल्यानें त्यांच्या प्रसरणगुणकांच्या व्याख्येंत "**शून्य अंश सें. पासून एक अंश सें. पर्यंत तापविलें असतां होणारी वाढ**" हें सांगणें अवश्य आहे.

शून्य° सें. उष्णमान असलेल्या एकमाप आकारमानाच्या वायूस त्याचे वरील दाब कायम असतां शून्य अंश सें. पासून एक अंश सें. पर्यंत तापविल्यानें त्याच्या आकारमानात जी वाढ होते त्या वाढीस वायूचा **प्रसरणगुणक** म्हणतात.

वायूरूप पदार्थ तापविले असतां,

व (१) त्यांचेवरील दाब कायम असतां, त्यांचें आकारमान वाढतें,
किंवा (२) त्यांचें आकारमान कायम असतां, त्यांचा दाब वाढतो.

साधारणतः (१) दाब कायम ठेवून त्यांच्या आकारमानांत होणारा फरक मोजतात.

किंवा (२) आकारमान कायम ठेवून त्यांच्या दाबांत होणारा फरक मोजतात.

पहिल्यास **आकारमानाचा प्रसरणगुणक** (Coefficient of expansion) व दुसऱ्यास **दाबवर्धन गुणक** (Coefficient of increase of pressure) असें म्हणतात.

ज्या वायुरूप पदार्थांचें उष्णतेनें पृथक्करण होत नाहीं (Permanant gases) अशा वायुरूप पदार्थांचा आकारमानाचा प्रसरणगुणक सारखाच असतो. म्हणजे सारख्याच आकारमानाचे व सारख्याच दाबाखालीं असलेले निरनिराळे वायू सारखेंच अंश तापविले तर त्यांचें प्रसरण सारखेंच होतें. त्यांना एक अंश तापविलें तर, त्यांचें प्रसरण, त्यांचे शून्य उष्णमानावर जेवढें आकारमान असेल त्याच्या $\frac{१}{२७३}$ इतकें असतें.

एखाद्या वायूचें आकारमान शून्य उष्णमान असतांना जर २७३ घ. सें. मी. असेल तर एक अंश उष्णमान झाल्यावर त्याचें आकारमान २७४ घ. सें. मी. होईल, म्हणजे तें २७३ च्या $\frac{१}{२७३}$ नें वाढेल. १० सें. उष्णमानावर तें २८३ घ. सें. मी. होईल म्हणजे तें २७३ च्या $\frac{१०}{२७३}$ नें वाढेल.

वायूचा प्रसरण गुणक $\frac{१}{२७३}$ अथवा ·००३६६ इतका असतो हा नियम चार्ल्स नांवाच्या फ्रेंच शास्त्रज्ञानें शोधून काढला.

वायूचा प्रसरणगुणक ठरविणें:—

प्रयोग १६—तीस सें. मी. लांबीची दोन्ही तोंडें उघडीं असलेली कांचेची बारीक नळी घ्या. तिच्या बारीक छिद्रांतून कोरडी हवा घालवून तिला

आंतून चांगली कोरडी करा, व तिचें एक तोंड बंद करा. तिला किंचित् तापवून तिचें उघडें तोंड थोडा वेळ पाऱ्याच्या भांड्यात धरा. बाहेरील थंडीमुळें आंतील हवा आकुंचन पावेल व थोडा पारा आंत ओढला जाईल. नळी तोंड वर करून उभी धरा व तिला पूर्ण पणें थंड होऊं द्या, पारा बुडापासून किती अंतरावर राहतो तें पहा म्हणजे (वातावरण + पारा) याच्या दाबाखालीं बंद असलेली हवा आपणास मिळेल.



आ. १५

ह्या नळीस एक उष्णमानमापक यंत्र व एक मोजपट्टी अशा रीतीनें बांधा कीं त्या पट्टीच्या सहाय्यानें या सबंध नळीची लांबी मोजतां येईल. हें सर्व उपकरण नळीचें तोंड वर करून वितळणाऱ्या बर्फांत ठेवा व पारा स्थिर झाला म्हणजे त्याच्या खालच्या टोंकाचें वाचन मोजपट्टीनें घ्या. हेंच उपकरण पूर्वीप्रमाणेंच ४०° सें. उष्णमानाच्या पाण्यांत धरा. नळींतील पारा वर चढून स्थिर झाला म्हणजे मोजपट्टीनें त्याच्या खालच्या टोंकाचें पुन: वाचन घ्या.

शून्य उष्णमानावरचें वाचन	$लां_1$	= २० सें. मी.
४० सें. उष्णमानावरचें वाचन	$ला_2$	= २२·९३ सें. मी.
∴ लांबींत झालेली वाढ	$लां_2 - लां_1$	= २·९३ सें. मी.

[नळीचें छिद्र सगळीकडे सारख्या आकाराचें असून नळीच्या तोंडाचें क्षेत्रफळ ‘क्ष’ चौ. सें. मी. आहे.]

∴ ($लां_1 \times क्ष$) घ. सें. मी. हवा जर २० सें. पासून ४०° सें. पर्यंत तापविली तर तिचें आकारमान (ला२ × क्ष) घ. सें. मी. होतें.

∴ शून्य अंश उष्णमानाची १ घ. सें. मी. हवा १ सें. तापविली तर तिचे आकारमानांत $\frac{क्ष\ (लां_2 - लां_1)}{लां_1 \times क्ष \times ४०}$ इतकी वाढ होईल.

अथवा वायूचा प्रसरणगुणक $= \frac{लां_2 - लां_1}{ला_1 \times ४०}$

$$= \frac{२२.९३-२०}{२०\times४०}$$

$$= \frac{२.९३}{८००}$$

$$= ०.००३६६$$

$$= \frac{१}{२७३}$$

वरील प्रयोगांत तयार केलेल्या उपकरणास ' हवेचें उष्णमानमापक यंत्र ' (Air thermometer) म्हणतात.

या हवेच्या उष्णमानमापक यंत्रावर खुणा करण्याकरतां यास वितळणाऱ्या बर्फांत ठेवून पाऱ्याच्या खालील अंगास खूण करावी; व तसेंच उकळणाऱ्या पाण्याच्या वाफेंत (७६० मि. मी. दाब असतां) ठेवून पाऱ्याच्या खालच्या अंगास खूण करावी, या दोन खुणांमधील अंतराचे १०० विभाग करावे. या विभागांच्या लांबीएवढया लांबीचे विभाग शून्य अंशाच्या खुणेच्या खालीं करीत गेल्यास–२७३ ची खूण नळीच्या टोंकाशीं येईल.

शून्य अंश उष्णमानाच्या १ घ. सें. मी हवेचें उष्णमान

१° कमी केलें तर तिचें आकारमान $१-\frac{१}{२७३}$ घ.सें. मी.होतें.

२° ,, ,, ,, ,, ,, $१-\frac{२}{२७३}$ घ.सें. मी.होतें.

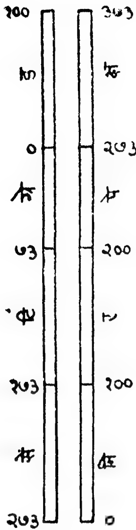
$\therefore २७३^{\circ}$,, ,, ,, ,, ,, $१-\frac{२७३}{२७३}$

$= ०$ व्हावयास पाहिजे.

पण या उष्णमानापर्यंत थंड होण्यापूर्वीच बहुतेक वायु द्रवरूप होतात.

निरपेक्ष उष्णमानः—

-२७३° सें. उष्णमानाच्या पलीकडे या उष्णमानमापकांवर जातां येत नाहीं, म्हणून–२७३° सें. या उष्णमानास '**निरपेक्ष शून्य**' (Absolute zero) अंश म्हणतात. ज्या अर्थी निरपेक्ष शून्य अंश उष्णमान हें ०° सें. उष्णमानाच्या २७३ अंश खालीं असतें त्याअर्थी,



०° सें. = २७३° निरपेक्ष
१° सें. = २७३+१
= २७४° निरपेक्ष
२° सें. = २७५° निरपेक्ष
उ° सें. = (२७३+उ)° निरपेक्ष

म्हणजे निरपेक्ष उष्णमान सेंटिग्रेड उष्णमानांत २७३ मिळविल्यानें मिळतें.

निरपेक्ष उष्णमान व वायूचें आकारमान यांचा संबंध पुढीलप्रमाणें आहे.

उष्णमान	निरपेक्ष उष्णमान	वायूचें आकारमान
०°	२७३°	२७३
१°	२७४	२७४
उ°	२७३+उ	२७३+उ

यावरून "वायूचें आकारमाने त्याच्या निरपेक्ष उष्णमानाच्या सम प्रमाणांत असतें" असें दिसून येईल.

आ. १६

दिलेल्या उष्णमानावर वायूच आकारमान ठरविणें:—

वायूचें आकारमान जर एका उष्णमानावर माहीत असेल तर त्याच वायूचें आकारमान दुसऱ्या कोणत्याही उष्णमानावर किती होईल हें वरील नियमानें ठरवितां येतें.

[खालीं दिलेल्या उदाहरणांत वायूवरील दाब कायम आहे असें समजावें.]

(१) २०° सेंटिग्रेड उष्णमानावर एका वायूचें आकारमान १०० घ. सें. मी. आहे. त्याचें उष्णमान ५०° सें. झाल्यास त्याचें आकारमान काय होईल ?

२०° सें. =(२७३+२०)° निरपेक्ष, व ५०° सें.= (२७३+५०)° निरपेक्ष. वायूचें आकारमान त्याच्या निरपेक्ष उष्णमानाच्या सम प्रमाणांतच असतें.

$$\therefore \frac{\text{आकारमान (५० सें. वर)}}{\text{आकारमान (२० सें. वर)}} = \frac{२७३ + ५०}{२७३ + २०}$$

अथवा $\frac{\text{आकारमान (५०° सें.)}}{१००} = \frac{३२३}{२९३}$

$\text{आकारमान (५०° सें.)} = \frac{३२३}{२९३} \times १००$

$= ११०\cdot२४$ घ. सें. मी.

(२) एका वायूचें आकारमान ३०° सें. उष्णमानावर ७२४ घ. सें.मी. आहे. त्या वायूचें आकारमान २०° सें. उष्णमानावर काय होईल ?

वरील नियमाप्रमाणें $\frac{\text{आ}_{२०}}{७२४} = \frac{२७३ + २०}{२७३ + ३०}$

$= \frac{२९३}{३०३}$

$\therefore \text{आकारमान (२०° सें.)} = \frac{२९३}{३०३} \times ७२४$

$= \frac{२१२१३२}{३०३}$

$= ७००\cdot१$ घ. सें. मी.

उष्णमान, दाब व आकारमान यांचा परस्पर संबंधः—

बॉईलच्या नियमानें उष्णमान कायम असतां आकारमान व दाब यांच्यामधील संबंध कळतो; व चार्ल्सच्या नियमानें दाब कायम असतां उष्णमान व आकारमान यांचा संबंध कळतो. म्हणून, बॉईलच्या व चार्ल्सच्या नियमांचा उपयोग करून दाब आकारमान व उष्णमान हे तिन्ही बदलत असतां त्याच्यात असणारा संबंध ठरवितां येतो.

समजा, $\text{दा}_१$, $\text{आ}_१$, आणि $\text{उ}_१$; व $\text{दा}_२$, $\text{आ}_२$ आणि $\text{उ}_२$ हे अनुक्रमें वायूचे सुरवातीचे व नंतरचे दाब, आकारमान व निरपेक्ष उष्णमान दाखवितात.

सुरवातीस दाब कायम आहे असें मानूं.

चार्ल्सच्या नियमानें

दाब $दा_१$, व उष्णमान (निरपेक्ष) $उ_१$ असतांना वायूचें आकारमान $आ_१$ आहे.

∴ दाब $दा_१$ व उष्णमान (निरपेक्ष) $उ_२$ असतां आकारमान

$$= \frac{आ_१ \times उ_२}{उ_१}$$

आतां उष्णमान (निरपेक्ष) $उ_२$ व दाब $दा_१$ असतां वायूचें आकारमान

$$= \frac{आ_१ \times उ_२}{उ_१} \text{ आहे.}$$

∴ बॉईलच्या नियमान्वयें,

निरपेक्ष उष्णमान $उ_२$ व दाब $दा_२$ असतांना वायूचें

$$\text{आकारमान} = \frac{दा_१ \times आ_१ \times उ_२}{दा_२ \times उ_१}$$

$$\text{अथवा } आ_२ = \frac{दा_१}{दा_२} \times \frac{उ_२}{उ_१} \times आ_१$$

$$,, \quad दा_२ \times उ_१ \times आ_२ = दा_१ \times आ_१ \times उ_२$$

$$,, \quad \frac{दा_२ \times आ_२}{उ_२} = \frac{दा_१ \times आ_१}{उ_१}$$

प्रयोगशाळेंत वायू नेहमीं वातावरणाच्या दाबाखालीं व हवेच्या उष्णमानावर गोळा करतात; पण त्यांचें आकारमान ०° सें. उष्णमान व ७६० मि. मी. दाब असतांना जेवढें असतें तेवढें सांगण्याचा परिपाठ आहे.

(१) पाऱ्याचें भस्म (Red oxide of mercury) तापवून त्यांतून निघणाऱ्या ऑक्सिजनचें आकारमान २४° सें. उष्णमान व ७४ सें. मी. दाब असतां ३८० घ. सें. मी. आहे. तर त्याचें आकारमान ०° सें. व ७६ सें. मी. दाब असतांना किती होईल ?

$$\text{वरील नियमाप्रमाणें, } \frac{दा_१ \times आ_१}{उ_१} = \frac{दा_२ \times आ_२}{उ_२}$$

$$\therefore \quad \frac{३८० \times ७४}{२७३ + २४} = \frac{७६ \times आ_२}{२७३}$$

अथवा $$\frac{\text{३८०} \times \text{७४}}{\text{२७३} + \text{२४}} \times \frac{\text{२७३}}{\text{७६}} = \text{आ}_{\text{२}}$$

" $$\frac{\text{३८०} \times \text{७४} \times \text{२७३}}{\text{२९७} \times \text{७६}} = \text{आ}_{\text{२}}$$

" $$\frac{\text{३३६७०}}{\text{९९}} = \text{आ}_{\text{२}}$$

" $$\text{३४०·१} = \text{आ}_{\text{२}}$$

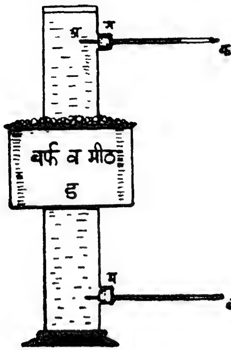
∴ वायूचें आकारमान ०° सें. उष्णमान व ७६ सें. मी. दाब असतांना ३४०·१ घ. सें. मी. होईल.

पाण्याचें अनियमित प्रसरणः—

पाणी थंड करीत गेलें असतां असें आढळतें कीं, त्याचें आकुंचन सारखें होत नसून ते ४° उष्णमानापर्यंत आकुंचन पावतें व नंतर प्रसरण पावूं लागतें. अथवा ०° सें. उष्णमानाचें पाणी घेऊन त्यास तापविलें तर त्याचें आकारमान ४° सें. उष्णमानापर्यंत कमीकमी होतें व नंतर तें वाढण्यास सुरवात होते.

$$\text{घनता} = \frac{\text{पदार्थमान}}{\text{आकारमान}}$$. म्हणून पदार्थमान कायम असतां जेव्हां आकारमान सर्वांत कमी असेल तेव्हां त्या पदार्थाची घनता सर्वांत जास्त (महत्तम) असेल. दिलेल्या वजनाच्या पाण्याचें आकारमान ४° सें. उष्णमानावर सर्वांत कमी असतें; म्हणून पाण्याची घनता ४° सें. उष्णमानावर महत्तम असते. याकरितां पदार्थमान मोजण्याच्या मापाची (ग्रॅमची) व्याख्या " ४° सें. उष्णमानाच्या १ घ. सें मी. शुद्ध पाण्याचें पदार्थमान " अशी करण्यांत आली आहे.

पाण्याची घनता ४° सें. उष्णमानावर महत्तम असतेः—



आकृति १७

प्रयोग १७—रीत १ ली (होपचा प्रयोग)– 'अ' हें एक तोंड बंद असलेलें कांचेचें नळकांडें आहे. त्याच्या मध्यभागीं 'ड' हें पन्हळ बसविलेलें आहे. 'अ' नळकांड्याच्या खालच्या व वरच्या बाजूस असलेल्या 'म' आणि 'ग' तोंडांस बुचें बसवून त्यांत 'ब' व 'क' हीं दोन उष्णमानमापकें बसविलेलीं आहेत.

'अ' भांड्यांत १०° सें. उष्णमानाचें पाणी भरा. 'ब' आणि 'क' उष्णमान-मापकांचीं वाचनें घ्या. तीं सारखींच आहेत असें तुम्हांस आढळेल. 'अ' नळकांड्यास लोंकरीचें कापड गुंडाळा व त्याचें तोंड जाड कागदाच्या तुकड्यानें झांका. 'ड' हें पन्हळ बर्फ व मीठ अथवा बर्फ व कॅल्शियम क्लोराइड यांच्या मिश्रणानें भरा. 'ब' आणि 'क' उष्णमानमापकांचें सारखें निरीक्षण करा. पहिल्यानें 'ब' उष्णमानमापकांतील पारा हळूहळू उतरत असून 'क' मध्यें कांहींच फरक होत नाहीं असें दिसेल. कांहीं वेळानंतर असें आढळून येईल कीं, 'ब' नें दर्शविलेलें उष्णमान ४° सें. पर्यंत खालीं जातें व त्यानंतर तें कमी होण्याचें थाबतें. नंतर 'क' चें उष्णमान कमी होत होत ०° सें. पर्यंत उतरतें.

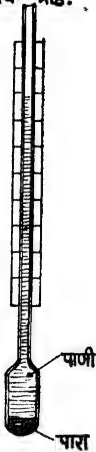
'ड' भांड्यांतील मीठ व बर्फ यांच्या मिश्रणानें 'अ' नळकांड्यांच्या मध्यभागीं असलेलें पाणी थंड होतें. ज्या अर्थीं पहिल्यानें 'ब' उष्णमान मापकानें दर्शविलेलें उष्णमान कमी कमी होतें त्या अर्थीं मध्यभागीं थंड होत असलेलें पाणी खालीं जात असलें पाहिजे, म्हणजे त्याचें दाढर्य वाढत असलें पाहिजे. ज्या अर्थीं 'ब' चें वाचन ४° सें. च्या खालीं कधींच जात नाहीं, व खालच्या पाण्याचें उष्णमान ४° सें. झाल्यावर 'क' उष्णमानमापकाचें वाचन कमी कमी होत जाऊन तें ०° सें. पर्यंत कमी होतें; त्या अर्थीं ४° सें. उष्णमान होईतों पाणी खालीं जात असलें पाहिजे व त्यापेक्षां अधिक थंड झालें म्हणजे तें वर येत असलें पाहिजे. म्हणजे ४° सें. उष्णमान होईतों पाण्याची घनता वाढते व नंतर ती कमी होते. अथवा

" पाण्याचें दार्ढ्य ४° सें. उष्णमानावर महत्तम असतें. "

हीच गोष्ट निराळ्या रीतीनें सिद्ध करतां येईल. ज्या भांड्याची धारणाशक्ति तें तापविलें असतां देखील बदलणार नाहीं असें भांडें जर आपणास तयार करतां आलें तर त्याच्या सहाय्यानें पाण्याची घनता कोणच्या उष्णमानावर महत्तम असते तें सहज ठरविता येईल. त्यांत पाणी भरून तें थंड केलें असतां पाण्याची पातळी जर खालीं जात असेल तर पाण्याचें दार्ढ्य तें थंड केल्यानें वाढतें व ती जर वर जात असेल तर दार्ढ्य कमी होतें असें सिद्ध होईल.

कायम धारणाशक्तीचें भांडें तयार करणें—

आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें कांचेचें एक लांबट भांडें घेऊन त्याचें वजन करा. त्या भांड्यावर केलेल्या खुणेपर्यंत पारा भरा व त्याचें पुनः वजन करा. त्यांत असलेल्या पाऱ्याच्या $\frac{1}{7}$ वजनाचा पारा त्यांत ठेवून बाकीचा त्या भांड्यास ऊन करून काढून टाका, म्हणजे कायम धारणाशक्तीचें भांडें तयार होईल.



आकृति १८

पाऱ्याचा प्रसरणगुणक कांचेच्या प्रसरणगुणकाच्या सात पट असतो, म्हणून भांड्याचें आकारमान जितकें वाढेल तितकेंच पाऱ्याचें ही वाढेल. (कारण पाऱ्याचें आकारमान भांड्याच्या आकारमानाच्या $\frac{1}{7}$ आहे.)

समजा, कांचेच्या भांड्याचें आकारमान ७० घ. सें. मी. आहे; व त्यांत असणाऱ्या पाऱ्याचें आकारमान १० घ. सें. मी. आहे. म्हणजे सुरवातीस त्यांतील रिकाम्या जागेचें आकारमान ६० घ. सें. मी. आहे. समजा, कांचेचा प्रसरणगुणक ' क्ष ' आहे, म्हणून पाऱ्याचा प्रसरणगुणक '७ क्ष' आहे. समजा तें भांडें १०° अंश तापविलें तर,

(१) भांड्याचें आकारमान = ७० (१ + १० क्ष) घ. सें. मी.
= ७० + ७० × १० क्ष

(२) पाऱ्याचें आकारमान = १० (१ + ७क्ष × १०) घ. सें. मी.
= १० + १० × १० × ७ क्ष

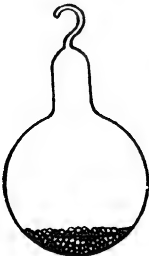
∴ रिकाम्या जागेचें आकारमान = ७० + ७०० क्ष − (१०+७०० क्ष)
= ६० घ. सें. मी.

हीच गोष्ट कोणत्याही उष्णमानावर खरी असते हें सहज समजेल.

प्रयोग १८—रीत २ री–आकृति १८ मधील 'अ' हें कायम धारण-शक्तीचें भांडें घेऊन तें शुद्ध पाण्यानें खुणेपर्यंत भरा.त्यास एका रुंद तोंडाच्या पारा असलेल्या परीक्षण नळींत उभें धरा. त्याच नळींत एक उष्णमानमापक-यंत्र ठेवा. ती परीक्षण नळी नंतर थंड पाण्याच्या भांड्यांत ठेवा व उष्णमान पाहा. नंतर पाण्यांत थोडें थोडें बर्फ टाकून त्यास हळूहळू थंड करा, व जसजसें पाण्याचें उष्णमान एक एक अंश कमी होईल तसतसें 'अ' मधील पाण्याच्या पातळीचें निरीक्षण करा. ही क्रिया पाण्याचें उष्णमान १° सें. होईतों चालू ठेवा. नंतर भांड्यांत थोडें थोडें ऊन पाणी घालून त्याचें उष्णमान वाढवीत जा, व जसजसें पाण्याचें उष्णमान एक एक अंश वाढेल तसतसें 'अ' मधील पाण्याच्या पातळीचें निरीक्षण करा. एकाच उष्णमानावर असलेल्या पाण्याच्या दोन्ही पातळ्यांच्या वाचनांची सरासरी काढून त्या उष्णमानावरील पाण्याची खरी पातळी ठरवा.

याप्रमाणें प्रयोग केल्यास पाण्याचें आकारमान ४° सें. उष्णमान असतांना सर्वांत कमी असतें असें दिसेल. यावरून पाण्याच दाढर्य ४° सें. उष्णमानावर महत्तम असतें हें सिद्ध होतें.

प्रयोग १९—रीत ३ री. (गोळ्याचा प्रयोग) एक ५ घ. सें. मी. आकारमानाचा व ५ ग्रॅ. वजनाचा छरें भरलेला कांचेचा बंद फुगा घेऊन त्यास ०° सें. उष्णमानाच्या पाण्यांत ठेवा. तो त्यांत बुडतो असें दिसेल. त्या पाण्यास हळूहळू उष्णता द्या म्हणजे तो हळूहळू वर येऊं लागेल व पाण्याचें उष्णमान ४° सें. असतांना तो पाण्यांत जेमतेम तरंगेल; पण पाण्याचें उष्णमान ४° सें. पेक्षां जास्त झाल्यास तो पुनः बुडूं लागतो असें दिसेल.



आकृति १९

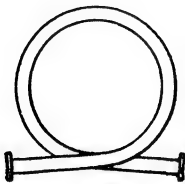
यावरून पाण्याचें उष्णमान ४° सें. पेक्षां कमी किंवा जास्त असल्यास त्याची घनता कमी असते हें सिद्ध होतें.

पाण्याच्या अनियमित प्रसरणामुळे मासे वगैरे जलचर प्राणी अत्यंत थंड प्रदेशांत सुद्धां जिवंत राहू शकतात. पाण्याचें उष्णमान ४° सें. होई-पर्यंत पाणी समुद्राच्या अथवा तळ्याच्या बुडाकडे जातें व त्यापेक्षां कमी उष्णमानाचें पाणी वर येऊं लागतें. शेवटीं पृष्ठभागावरचें पाणी ०° सें. उष्णमानाचें होऊन गोठूं लागतें. पृष्टभागावर बर्फाचा थर जमला म्हणजे आंतील पाण्यास लवकर थंडी लागत नाहीं व तें गोठत नाहीं, म्हणून मासे वगैरे प्राणी त्यांत राहूं शकतात.

प्रसरणाचें व्यवहारांतील उपयोग—

(१) बाटलीला बसविलेलें कांचेचें बूच जर घट्ट बसलें असेल तर बाटलीची मान किंचित् तापवावी म्हणजे मानेचें आकारमान वाढून बूच सैल होईल व तें सहज काढतां येईल.

(२) आगगाडीचें रूळ बसवितांना त्यांच्यामध्यें थोडी फट ठेवतात. सूर्याच्या उष्णतेमुळें रूळ तापून प्रसरण पावतात. त्यांच्या प्रसरणाला जर वाव नसेल तर ते वांकतील.



आकृति २०

(३) वाफ नेणारे नळ जोडतांना दर ५०–६० फुटांवर २० व्या आकृतींत दाखविलेल्या आकाराच्या नळ्या जोडतात. (४) गाडीच्या चाकावर धांव बसवितांना तिचा घेर चाकाच्या घेरापेक्षां थोडा लहान ठेवतात. ती तापवून चाकावर बसवितात व नंतर पाणी ओतून थंड करतात म्हणजे ती घट्ट बसते.

(५) आंदोलकाच्या आंदोलनाचा वेळ त्याच्या लांबीवर अवलंबून असतो. आंदोलकाचा दांडा धातूचा केलेला असल्यानें उन्हाळ्यांत त्याची लांबी वाढते व आंदोलनाचा वेळ वाढून घड्याळ मागें जातें. याच्या उलट हिवाळ्यांत त्याची लांबी कमी होऊन आंदो-लनाचा वेळ कमी होतो व घड्याळ पुढें जाऊं लागतें. घड्याळ



सर्व ऋतूंत बरोबर चालण्याकरतां त्याच्या आंदोलकाची लांबी सर्व ऋतूंत सारखीच असणें अवश्य आहे. ती लांबी कायम ठेवण्याकरतां पुढील योजना केलेली असते.

समजा, ‘ अब ’ या लोखंडी गजाचें ‘ ब ’ टोंक ‘ कड ’ या पितळी गजाच्या ‘ क ’ टोंकाशीं पक्कें सांधलें आहे. ‘ अ ’ हें टोंक पक्कें केलेलें आहे. उष्णमान वाढलें म्हणजे ‘ अब ’ दांडा ‘ ब ’ कडे आणि ‘ कड ’ दांडा ‘ ड ’ कडे वाढेल. आतां ‘ अब ’ चे खालीं होणारें प्रसरण, जर ‘ कड ’ च्या वर होणाऱ्या प्रसरणाबरोबर असेल तर ‘ अड ’ हें अंतर कायम राहील.

आकृति २१

समजा अब = $लां_1$ आणि लोखंडाचा प्रसरणगुणक ‘क्ष’ आहे.

आणि कड = $लां_2$ आणि पितळेचा प्रसरणगुणक ‘य’ आहे.

१° सें. उष्णमान वाढल्यांवर ‘ अब ’ ची वाढ = $लां_1 \times क्ष$

व ‘ कड ’ ची वाढ = $लां_2 \times य$

जर ‘ अड ’ ची लांबी कायम ठेवावयाची असेल तर

$$लां_1 \times क्ष = लां_2 \times य$$

$$\therefore \frac{लां_1}{लां_2} = \frac{य}{क्ष} = \frac{\cdot००००१९}{\cdot००००१२} = \frac{\text{पितळेचा प्रसरणगुणक}}{\text{लोखंडाचा प्रसरणगुणक}}$$

$$= \frac{३}{२} \text{ (जवळ जवळ)}$$

आंदोलनाचा वेळ बदलूं नये म्हणून केलेल्या योजना—

(१) Grid Iron Pendulum—साधारणपणें हा लंबक ४ पितळी गज व ५ लोखंडी गज यांचा तयार केलेला असतो. यांत लोखंडी गजांची एकंदर लांबी पितळी गजांच्या एकंदर लांबीच्या दीडपट असते.



आ. २२

(२) बाविसाव्या आकृतींत दर्शविल्याप्रमाणें दांड्याच्या टोंकास पाऱ्यानें भरलेलें भांडें अडकवितात. दांडाच्या प्रसरणामुळें लंबकाचा गुरुत्वमध्य जितका खालीं येईल तितकाच तो पाऱ्याच्या प्रसरणामुळें वर नेण्याची व्यवस्था केलेली असते.

(३) अलीकडे निकल आणि पोलाद (Invar) ह्यांच्या मिश्रणाचा लंबकाचा दांडा तयार करतात. उष्णमान वाढलें असतां ह्या मिश्रणाच्या गजाची लांबी इतकी कमी वाढते कीं त्या वाढीचा विचार न केला तरी चालण्यासारखें असतें.

उदाहरणसंग्रह २ रा

१. लांबीचा प्रसरणगुणक म्हणजे काय? तो तुम्हीं प्रयोगानें कसा ठरवाल?

२. क्षेत्रफळाचा प्रसरणगुणक हा लांबीच्या प्रसरणगुणकाच्या दुप्पट असतो व आकारमानाचा प्रसरणगुणक त्याच्या तिप्पट असतो हें कसें सिद्ध कराल?

३. एका धातूच्या मीटर पट्टीची ५° सें. उष्णमानावरील लांबी ९९·९७७ सें. मी. आहे. ३५° सें. उष्णमानावर तिची लांबी १००·०११ सें. मी. होते. तर धातूचा प्रसरणगुणक काय? त्या पट्टीची लांबी बरोबर एक मीटर कोणच्या उष्णमानावर होईल? (नागपूर १९३१).

४. एका वाफेच्या नळाची ०° सें. उष्णमानावरील लांबी ४० फूट आहे. त्यांतून १००° सें. उष्णमानाची वाफ सोडली असतां त्याची लांबी काय होईल? (लोखंडाचा प्र. गुणक ·००००१२).

५. एका कांचेच्या नळीची लांबी १००° सें. उष्णमान असतांना १५४ सें. मी. आहे. त्या नळीची लांबी ० सें. उष्णमान असतांना काय होईल? (कांचेचा प्र. गुणक = ·००००००८६).

६. शून्य अंश सेंटिग्रेड उष्णमान असतांना एका चंबूत १३६० ग्रॅम पारा राहतो. तो चंबू उकळत्या पाण्यांत धरला तर त्यांतून किती पारा

वाहून जाईल ? (पाऱ्याच्या कांचेंतील प्रसरणगुणक ·०००१५ व पाऱ्याचें वि. गु. १३·६).

७. ४° सें. उष्णमानावर पाण्याची घनता महत्तम असते हें कसें सिद्ध कराल ? दोन प्रयोग सांगा.

८. थंडीच्या दिवसांत बर्फ पाण्याच्या पृष्ठभागावरच कां तयार होतें ?

९. प्लॅटिनमची तार काचेच्या नळींत पक्की बसवितां येते, पण इतर धातूंची तार तशी बसवितां येत नाहीं तें कां ?

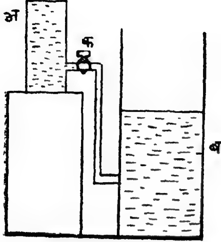
१०. उष्णतेमुळें पदार्थ प्रसरण पावतात या गोष्टीचे व्यवहारांत काय उपयोग केले आहेत ?

११. घड्याळें नेहमीं सारख्याच गतीनें चालावींत म्हणून त्यांत काय योजना केलेली असते ?

प्रकरण ३ रें.

विशिष्ट उष्णता.

उष्णता व उष्णमान (Heat & Temperature)



आकृति २३

'अ' भांडें उंच ठिकाणावर ठेवलें असून 'ब' हें भांडें जमिनीवर ठेवलें आहे. 'ब' भांडें 'अ' भांड्यापेक्षां फारच मोठें आहे. त्यात असलेलें पाणी देखील 'अ' मध्यें असलेल्या पाण्यापेक्षां पुष्कळच जास्त आहे. 'अ' भांडें 'ब' भांड्याशीं 'क' या नळानें जोडल्यास 'अ' मधील पाणी 'ब' मध्यें वाहात जाईल. ही पाणी वाहण्याची क्रिया दोन्ही भांड्यांतील पाण्याची पातळी एक होईतों चालू राहील व ती एक झाली म्हणजे पाणी वाहणें बंद होईल. ह्यावरून, असें दिसेल कीं,

. (१) पाणी वाहण्याची क्रिया प्रत्येक भांड्यांत असणाऱ्या पाण्याच्या प्रमाणावर अवलंबून नसते.

(२) पाणी वाहण्याची क्रिया प्रत्येक भांड्यातील पाण्याच्या पातळीवर अवलंबून असते.

एक लहान व एक मोटा पितळी गोळा सारख्याच दिव्यांनीं सारखाच वेळ तापवा व गोळ्यांचें उष्णमान पाहा. दोन्ही गोळ्यास मिळालेली उष्णता सारखीच असली तरी लहान गोळ्याचें उष्णमान अधिक आहे व मोटयाच कमी आहे असें तुम्हांस दिसेल. ते दोन्ही गोळे नंतर एकमेकांस चिकटवून ठेवा, लहान गोळ्याचें उष्णमान कमी होतें व मोठ्याचें वाढतें असें दिसेल म्हणजे लहानगोळ्यांतून मोठया गोळ्यांत उष्णता जाते. यावरून असें दिसेल कीं

(१) उष्णतेचा प्रवाह पदार्थांत असणाऱ्या उष्णतेच्या प्रमाणावर अवलंबून नसतो.

(२) उष्णतेचा प्रवाह पदार्थाच्या उष्णमानावर (उष्णताविषयक स्थितीवर) अवलंबून असतो.

एका भांड्यांत थोडें ऊन पाणी घ्या. त्यांतून थोडेसें पाणी ओता. पाणी

ओतल्यामुळें भांड्यांतील उष्णता कमी होईल पण त्याचें उष्णमान (उष्णता-विषयक स्थिति) बदलणार नाहीं.

थोडें ऊन पाणी घेऊन थंड पाण्यांत ओता. एकंदर उष्णता जेवढी पूर्वी होती तेवढीच राहील, पण ऊन पाण्याचा ऊनपणा (उष्णमान) कमी होईल व थंड पाण्याचा ऊनपणा वाढेल आणि मिश्रणाचें उष्णमान ऊन पाण्यापेक्षां कमी व थंड पाण्यापेक्षा जास्त होईल.

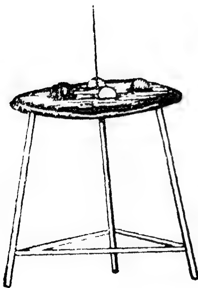
वरील विवेचनावरून असें दिसून येईल कीं, ज्याप्रमाणें पाण्याची पातळी व पाणी यांच्यांत भेद आहे, त्याप्रमाणें उष्णमान व उष्णता यांच्यांतहि भेद आहे. ज्याप्रमाणें पाण्याचा प्रवाह पाण्याच्या प्रमाणावर अवलंबून न राहतां त्याच्या पातळीवर अवलंबून असतो; त्याचप्रमाणें उष्णतेचा प्रवाह उष्णतेच्या प्रमाणावर अवलंबून न राहतां उष्णमानावर अवलंबून असतो; म्हणून **ज्याच्या सहाय्यानें उष्णतेच्या प्रवाहाची दिशा ठरवितां येते त्यास ' उष्णमान '** म्हणतात.

उष्णताग्राहक शक्तिः [Capacity for Heat].

कोणताही पदार्थ एक अंश तापविण्याकरीता जेवढी उष्णता लागते तेवढ्या उष्णतेस त्या पदार्थाची उष्णताग्राहक शक्ति असें म्हणतात.

सर्व पदार्थांची उष्णताग्राहक शक्ति सारखी नसते—

प्रयोग २०—सारख्याच वजनाचे निरनिराळे धातूंचे, आंकडे असलेले गोळे घ्या. त्यांना तारेच्या सहाय्यानें उकळत्या पाण्याच्या भांड्यांत ठेवा. पाण्याचें व त्यांचें उष्णमान एक झाल्यावर त्यांना तिवईवर ठेवलेल्या मेणाच्या जाड चकतीवर पाडा. गोळे चकतीवर पडल्यानें मेण वितळेल, पण त्याचें वितळण्याचें प्रमाण निरनिराळ्या गोळ्यांच्या ठिकाणीं निरनिराळें आहे असें आढळेल.


आकृति २४

यावरून सारख्याच वजनाचे निरनिराळे पदार्थ सारख्याच उष्णमानांतून निवले असतां त्यांतून बाहेर पडणारी उष्णता कमी अधिक असते असें दिसेल.

प्रयोग २१— सारख्याच वजनाचे कांचेचे पेले घ्या त्यांपैकीं एकांत पाणी, दुसऱ्यांत स्पिरिट, तिसऱ्यांत टरपेन्टाइन व चवथ्यांत ग्लिसरीन प्रत्येकीं ५० ग्रॅम घ्या. प्रत्येक भांड्यास दोन दोन मिनिटें एकाच मद्यार्काच्या दिव्यानें तापवा. प्रत्येकाच्या उष्णमानांत झालेली वाढ पाहा. ती निरनिराळी आहे असें आढळेल. (दिव्यानें सारख्याच वेळांत दिलेली उष्णता सारखी असते असें मानण्यास हरकत नाहीं.)

यावरून सारख्याच उष्णतेनें सारख्या वजनाचे पदार्थ सारखे अंश तापत नाहींत; अथवा निरनिराळ्या पदार्थांच्या एक ग्रॅम वजनास १ अंश तापण्यास लागणारी उष्णता सारखी नसते.

एक ग्रॅम पाण्यास एक अंश तापण्यास लागणारी उष्णता ही इतर पदार्थांच्या १ ग्रॅम वजनास एक अंश तापण्यास लागणाऱ्या उष्णतेपेक्षां जास्त असते. एक ग्रॅम पाण्यास १ अंश तापण्यास जी उष्णता लागते तिला उष्णता मोजण्याचें माप (Thermal unit) किंवा **कॅलोरी** (Calorie) म्हणतात.

एकाच द्रव्याच्या निरनिराळ्या वजनांची उष्णताग्राहकशक्ति निराळी असते.

एक ग्रॅम तांब्यास १ अंश सें. तापण्यास ०·१ कलोरी उष्णता लागत असेल तर

५ ग्रॅम तांब्यास १ अंश सें. तापण्यास ·१× ५ = ०·५ कॅलोरी उष्णता लागेल.

म्हणून ५ ग्रॅम तांब्याची उष्णताग्राहक शक्ति १ ग्रॅम तांब्याच्या उष्णताग्राहक शक्तीपेक्षां निराळी आहे.

विशिष्ट उष्णताः—कोणताही पदार्थ कांहीं अंश तापण्यास लागणारी उष्णता, व तितक्याच वजनाचें पाणी तितकेंच अंश तापण्यास लागणारी उष्णता, या दोहोंच्या गुणोत्तरास **विशिष्ट ऊष्णता** असें म्हणतात.

अथवा

$$\text{विशिष्ट उष्णता} = \frac{\text{कांहीं वजनाच्या पदार्थाची उष्णताग्राहकशक्ति}}{\text{तेवढयाच वजनाच्या पाण्याची उष्णताग्राहक शक्ति}}$$

$$= \frac{\text{१ ग्रॅम पदार्थाची उष्णताग्राहकशक्ति}}{\text{१ ग्रॅम पाण्याची उष्णताग्राहकशक्ति}}$$

पण १ ग्रॅम पाण्याची उष्णताग्राहकशक्ति १ कॅलोरी आहे. म्हणून विशिष्ट उष्णता दर्शविणारा अंक

= { १ ग्रॅम पदार्थ १ अंश तापण्यास लागणाऱ्या कॅलोरींची संख्या दर्शविणारा अंक

ऊन पाण्यानें दिलेली उष्णता = थंड पाण्यानें घेतलेली उष्णता

प्रयोग २२—एका भांड्यांत थोडें ऊन पाणी घ्या, व दुसऱ्यांत तितकेंच थंड पाणी घ्या, दोन्ही भांड्यातील पाण्यांचीं उष्णमानें काळजीपूर्वक पाहा. दोन्ही एकमेकांत मिसळा व मिश्रणाचें उष्णतामान पाहा. त्याचप्रमाणें पाण्याचें ऐवजीं इतर द्रवपदार्थ घेऊन प्रयोग करा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

'अ' भांड्यांतील द्रवाचें उष्णमान	'ब' भांड्यांतील द्रवाचें उष्णमान	$\frac{\text{अ + ब}}{२}$	मिश्रणाचें उष्णमान

वरीलप्रमाणें प्रयोग केल्यास असें आढळून येईल कीं, **सारख्याच वजनांचे पण भिन्न उष्णमानाचे दोन द्रव मिसळल्यास मिश्रणाचें उष्णमान साधारणपणें दोन्ही उष्णमानांच्या बेरजेच्या निम्में असतें.**

प्रयोग २३—एका भांड्यांत थोडें थंड पाणी घ्या. दुसऱ्या भांड्यांत तेवढेंच पाणी घेऊन त्यास सुमारें ४५°. सें. पर्यंत तापवा व दिवा काढून घ्या. पाण्याचें उष्णमान स्थिर झालें म्हणजे ऊन पाणी थंड पाण्यांत ओता. मिश्रण ढवळून त्याचें उष्णमान पाहा.

थंड पाण्याचें वजन ... ... $व_1$ ग्रॅम
थंड पाण्याचें उष्णमान... ... ... $उ_1$° सें.
ऊन पाण्याचें वजन ... ... $व_2$ ग्रॅम

ऊन पाण्याचें उष्णमान ... ... $उ_२^{\circ}$ सें.
मिश्रणाचें उष्णमान ... ... $उ_३^{\circ}$ सें.
ऊन पाण्याच्या उष्णमानांतील उतार ... ($उ_२^{\circ}-उ_३^{\circ}$) सें.

ऊन पाण्यानें दिलेली उष्णता=ऊन पाण्याचें वजन×उष्णमानांतील उतार
थंड पाण्यानें घेतलेली उष्णता=थंड पाण्याचे वजन×उष्णमानांतील वाढ

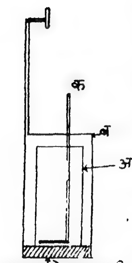
याचप्रमाणें पाण्याचीं असमान वजनें घेऊन प्रयोग करा. तुम्हांस असें आढळून येईल, कीं,

ऊन पाण्याचें वजन × उष्णमानांतील उतार } व { थंड पाण्याचें वजन × उष्णमानांतील वाढ हे गुणाकार जवळ जवळ बरोबर असतात. अथवा,

ऊन पाण्यानें दिलेली उष्णता=थंड पाण्यानें घेतलेली उष्णता.

या तत्त्वावरच विशिष्ट उष्णता काढण्याची रीत अवलंबून आहे.

उष्णतामापक पात्र (Calorimeter):—कोणत्याही पदार्थाची विशिष्ट उष्णता ठरविण्याकरतां एका विशिष्ट प्रकारच्या भांड्याची आवश्यकता असते. या भांड्यास 'उष्णतामापक पात्र' (Calorimeter) म्हणतात. यांत 'अ' हें तांब्याचें अथवा ॲल्युमिनियमचें भांडें 'ब' या मोठ्या भांड्यांत उष्णतारोधक पदार्थावर (बूच, बुरणुस...इत्यादि) ठेवलेलें असतें. त्यांत 'क' ही तारेची ढवळणी (Stirrer) असते. 'अ' भांडें 'ब' भांड्यांत ठेवल्यानें 'अ' आणि 'ब' यांच्यामधील पोकळींत हवा राहते व हवा उष्णतेची मंदवाहक असल्यानें, 'अ' मधील उष्णता बाहेर जाऊं शकत नाहीं, अथवा बाहेरील उष्णतेचा आणि थंडीचा त्यावर कांहींच परिणाम होत नाहीं. 'अ' भांड्याचा बाहेरील पृष्ठभाग व 'ब' भांड्याचा आंतील पृष्ठभाग. चकचकीत केलेले असतात. पृष्ठभाग चकचकीत केल्यामुळें किरणविसर्जन पद्धतीनें त्यांतील उष्णता बाहेर जात नाहीं.



आकृति २५

विशिष्ट उष्णता ठरवितांना या भांड्याचा नेहमीं उपयोग करावा लागतो म्हणून त्याची ('अ' भांड्याची) उष्णताग्राहकशक्ति माहित असावयास पाहिजे; अथवा जितक्या उष्णतेनें उष्णतामापक पात्र १° सें. तापतें,

तेवढ्याच उष्णतेनें जितके ग्रॅम पाणी १° सें. तापेल, तें माहित असलें पाहिजे.

उष्णतामापक पात्र एक अंश सें. तापण्यास जेवढी उष्णता लागते तेवढ्याच उष्णतेनें जितके ग्रॅम पाणी एक अंश तापेल, तेवढ्या पाण्यास **पात्राचें तुल्यजल** (Water Equivalent) म्हणतात.

समजा ज्या धातूचें तें पात्र केलेलें असेल त्याची वि. उ. '**क्ष**' आहे, व त्या पात्राचें वजन 'व' ग्रॅम आहे.

∴ १ ग्रॅम धातु १° सें. तापण्यास लागणारी उष्णता=**क्ष** कॅलोरी.

∴ **व** ,, ,, ,, ,, ,, ,, =**व×क्ष** ,,

अथवा त्या पात्राची उष्णताग्राहकशक्ति **व×क्ष** कॅलोरी आहे.

आतां १ कॅलोरी उष्णतेनें १ ग्रॅम पाणी १° सें. तापतें; म्हणून

व×क्ष कलोरी उष्णतेनें **व×क्ष** ग्रॅम पाणी १° सें. तापेल.

∴ उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल=**व×क्ष** ग्रॅम.

म्हणजे जितके कॅलोरी त्या उष्णतामापक पात्राची उष्णताग्राहकशक्ति असते तितके ग्रॅम पाणी त्या उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल असतें.

उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल ठरविणें:—

प्रयोग २४—एका रिकाम्या उष्णतामापक पात्राचें वजन करा व त्याचें उष्णमान पाहा. एका भांड्यांत थोडें पाणी घेऊन तें तापवा. बाहेरील हवेच्या उष्णमानापेक्षां त्याचें उष्णमान फार वाढूं देऊं नका (सुमारें ३५° सें. ते ४०° सें. पर्यंत तापवा.) तापवणें बंद करून तें मिश्रण ढवळा उष्णमान स्थिर झाल्यावर तें पाहा; व ऊन पाणी एकदम थंड पाण्याच्या भांड्यांत ओता. ढवळणीनें ढवळून उष्णमान पाहा; नंतर त्याचें पाण्या-सहित वजन करा.

निरीक्षणें—

उष्णतामापक पात्राचें वजन	$व_1$	३० ग्रॅम
उष्णतामापक पात्राचें उष्णमान	$उ_1$	२५° सें.
मिश्रणाचें उष्णमान	$उ_2$	३९° सें.
उष्णमानांतील वाढ	$(उ_2 - उ_1)$	१४° सें.
ऊन पाण्याचें वजन	$व_2$	४० ग्रॅ.

ऊन पाण्याचें उष्णमान $उ_3$ ४० सें.

उष्णमानांतील उतार $उ_3 - उ_2$ १° सें.

ऊन पाण्यानें दिलेली उष्णता = ऊन पाण्याचें वजन × उष्णमानांतील उतार

$= व_2 \times (उ_3 - उ_2)$

∵ ऊन पाण्यानें दिलेली उष्णता = उष्णतामापक पात्रानें घेतलेली उष्णता.

∴ उष्णतामापक पात्रानें $(उ_2 - उ_1)^{\circ}$ सें. तापण्यास घेतलेली उष्णता $= व_2 (उ_3 - उ_2)$ कॅ.

∴ उष्णतामापक पात्र १° सें तापण्यास लागणारी उष्णता $= \frac{व_2 (उ_3 - उ_2)}{(उ_2 - उ_1)}$ कॅ.

∴ उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल $= \frac{व_2 (उ_3 - उ_2)}{(उ_2 - उ_1)}$ ग्रॅम

$= \frac{४० (४० - ३९)}{३९ - २५}$ ग्रॅम

$= \frac{४०}{१४}$ ग्रॅम

$= २.८५$ ग्रॅम

घनपदार्थांची विशिष्ट उष्णता ठरविणें:–

प्रयोग२५ —एक शिशाचा दंडगोल घेऊन त्यास दोरा बांधा व त्याचें वजन करा. नंतर त्यास उकळत्या पाण्याच्या भांड्यांत ठेवा व त्याचें उष्णमान उकळत्या पाण्याइतकें होऊं द्या. उष्णतामापक पात्राचें वजन करा. तें अर्ध्यापेक्षां अधिक भरेल इतकें थंड पाणी घेऊन त्याचें पुनः वजन करा. थंड पाण्याचें व उकळत्या पाण्याचें उष्णमान पाहा. तापलेला दंडगोल उष्णतामापक पात्रांत हळूच सोडा व ढवळणीनें ढवळून मिश्रणाचें स्थिर उष्णमान पाहा.

निरीक्षणें:—

उष्णतामापक पात्राचें वजन ... ... $व_1$ ग्रॅम

उष्णतामापक पात्र + थंड पाणी याचें वजन ... $व_2$ ग्रॅम

थंड पाण्याचें वजन ... ... $(व_2 - व_1)$ ग्रॅम

दंडगोलाचें वजन	...	$व_3$ ग्रॅम
थंड पाण्याचें उष्णमान	...	$उ_1$ सें.
दंडगोलाचें उष्णमान	...	$उ_2$ सें.
मिश्रणाचें उष्णमान	...	ऊ सें.

उष्णतामापक पात्राच्या धातूची वि. उष्णता समजा क्ष

घन पदार्थाची वि. उष्णता 'य' आहे.

गोळयानें दिलेली उष्णता = थंड पाण्यानें घेतलेली उष्णता
+ उष्णतामापक पात्रानें घेतलेली उष्णता

$$व_3 \times य\,(उ_2 - ऊ) = (ऊ - उ_1)(व_2 - व_1) + (ऊ - उ_1) \times व_1 \times क्ष$$
$$= (ऊ - उ_1)\left[(व_2 - व_1) + व_1 \times क्ष\right]$$
$$\therefore य = \frac{(ऊ - उ_1)\left[(व_2 - व_1) + व_1 \times क्ष\right]}{व_3\,(उ_2 - ऊ)}$$

(१) पुढील पक्षांवरून ॲल्युमिनियमची वि. उ. ठरवा.

तांब्याच्या उष्णतामापक पात्राचें वजन	...	२० ग्रॅम
उष्णतामापक पात्र + थंड पाणी यांचें वजन	...	८० ग्रॅम
ॲल्युमिनियमचें वजन ...	...	२० ग्रॅम
थंड पाण्याचें उष्णमान ...	..	१५° सें.
ॲल्युमिनियमचें उष्णमान ...	...	१००° सें.
मिश्रणाचें उष्णमान ...	...	२०° सें.
तांब्याची विशिष्ट उष्णता ...	...	०.०९५

समजा, ॲल्युमिनियमची वि. उष्णता 'य' आहे.

ॲल्युमिनियमनें दिलेली उष्णता = थंड पाण्यानें घेतलेली उष्णता
+ उष्णतामापक पात्रानें घेतलेली उष्णता.

$$२० \times य\,(१०० - २०) = ६०\,(२० - १५) + २० \times \cdot०९५\,(२० - १५)$$
$$अथवा\ २० \times ८० \times य = ५\,(६० + २० \times \cdot०९५)$$
$$अथवा\ १६०० य = ५\,(६० + १.९)$$
$$= ३०९.५$$
$$\therefore य = \frac{३०९\cdot५}{१६००}$$
$$\therefore य = ०.१९३$$

विशेष सूचना—

(१) उष्णतामापक पात्र व त्यांत असणारें पाणी यांचें वजन एक दशांश स्थळापर्यंत बरोबर घ्यावे. यापेक्षां अधिक सूक्ष्म वजन घेण्याचें कारण नाहीं

(२) उष्णमान मात्र एक दशांश स्थळापर्यंत बरोबर घ्यावें. उष्णमानांतील चुकीमुळें होणारी एकंदर चूक, वजनांतील चुकीमुळें होणाऱ्या चुकीपेक्षा फारच जास्त असते.

(३) दंडगोल साधारणपणें इतका मोठा असला पाहिजे कीं तो पाण्यांत घातला असतां पाण्याचें उष्णमान निदान २।३ अंशांनीं तरी वाढेल.

(४) पाण्यांत विरघळणाऱ्या पदार्थांची वि. उ. काढावयाची असल्यास पाण्याचे ऐवजीं तो ज्या द्रवांत विरघळणार नाहीं व ज्याची वि. उ. माहीत असेल असा द्रव वापरावा.

द्रव पदार्थांची वि. उ. ठरविणें:—

प्रयोग २६—उष्णतामापक पात्राचें वजन करा. ज्या द्रवाची वि. उष्णता ठरवावयाची असेल त्यानें तें अर्धे अधिक भरा व पुनः वजन करा. ज्यावर त्या द्रवाची रासायनिक क्रिया होणार नाहीं अशा घन पदार्थांचें वजन करा. त्यांस उकळत्या पाण्याच्या भांड्यांत ठेऊन तापवा. थंड द्रवाचें उष्णमान पाहून त्यांत तो तापविलेला घनपदार्थ हळूच सोडा. मिश्रण नीट ढवळून मिश्रणाचें स्थिर उष्णमान पाहा. उकळत्या पाण्याचें उष्णमान पाहा.

निरीक्षणें—

उष्णतामापक पात्राचें वजन	$व_1$	ग्रॅम
उष्णतामापक पात्र+द्रव यांचें वजन	$व_2$	,,
द्रवाचें वजन	$(व_2 - व_1)$	,,
घन पदार्थांचें वजन	$व_3$	,,
द्रवाचें उष्णमान	$उ_1$	सें.
घन पदार्थांचें उष्णमान	$उ_2$	सें.
मिश्रणाचें उष्णमान	ऊ.	सें.
उष्णतामापक पात्राच्या धातूची वि. उ.	$क्ष_1$	
घनपदार्थांची वि. उष्णता	$क्ष_2$	

समजा द्रवपदार्थांची विशिष्ट उष्णता 'य' आहे.

घनपदार्थानें दिलेली उष्णता = { उ. मा. पात्रानें घेतलेली उष्णता + द्रवानें घेतलेली उष्णता

$$व_3 \times क्ष_2 \times (उ_2 - ऊ) = \begin{cases} व_1 \times क्ष_1 \times (ऊ - उ_1) \\ + (व_2 - व_1) \times य \times (ऊ - उ_1) \end{cases}$$

$$\text{अथवा } \left. \begin{array}{l} व_3 \times क्ष_2 \times (उ_2 - ऊ) \\ - व_1 \times क्ष_1 \times (ऊ - उ_1) \end{array} \right\} = (व_2 - व_1) \times य \times (ऊ - उ_1)$$

$$\text{अथवा } \frac{व_3 \times क्ष_2 \times (उ_2 - ऊ) - व_1 \times क्ष_1 \times (ऊ - उ_1)}{(व_2 - व_1)\ (ऊ - उ_1)} = य$$

पुढील पक्षावरून मद्यार्काची वि. उष्णता ठरवा.

तांब्याच्या उष्णतामापक पात्राचें वजन	३४ ग्रॅम
उष्णतामापक पात्र + मद्यार्क यांचें वजन	८० ग्रॅम
लोखंडी गोळ्याचें वजन	५० ग्रॅम
मद्यार्काचें उष्णमान	२२° सें.
लोखंडी गोळ्याचें उष्णमान	१००° सें.
मिश्रणाचें उष्णमान	३४° सें.
तांब्याची वि. उ.	०·०९
लोखंडाची वि. उ.	०.११

समजा मद्यार्काची वि. उ. 'य' आहे.

लोखंडानें दिलेली उष्णता = { उ. मा. पात्रानें घेतलेली उष्णता + मद्यार्कानें घेतलेली उष्णता

५०×.११×(१००−३४) = ३४×.०९×१२+४६×१२×य

अथवा ५.५×६६ = ३.०६×१२+५५२ य

,, ३६३−३६.७२ = ५५२ य

,, ३२६.२८ = ५५२ य

,, ०.९१ = य

म्हणून मद्यार्काची वि. उ. = ०.९१

स्पिरिटच्या दिव्याच्या ज्योतीचें उष्णतामान ठरविणें:—

प्रयोग २७—लवकर वितळणार नाहीं व ज्याची वि. उष्णता माहीत आहे अशा धातूचा गोळा घेऊन त्याचे वजन करा. त्यास बारीक तारेच्या

सहाय्यानें दिव्याच्या ज्योतींत धरा. उष्णतामापक पात्राचें वजन करून त्यांत अर्धें भरेल इतकें थंड पाणी घ्या, व त्याचें पुनः वजन करा. पाण्याचें उष्णमान पाहा. गोळा १०–१२ मिनिटें तापविल्यावर, म्हणजे त्याचें उष्णमान ज्योतीइतकें झाल्यावर त्यास हळूच उष्णतामापक पात्रातील पाण्यांत सोडा. ढवळणीनें ढवळून मिश्रणाचें स्थिर उष्णमान पाहा.

निरीक्षणें—

उष्णतामापक पात्राचें वजन	$व_1$ ग्रॅ.
उष्णतामापक पात्र + थंड पाणी यांचें वजन	$व_2$ ग्रॅ.
∴ थंड पाण्याचें वजन	$(व_2 - व_1)$ ग्रॅ.
गोळ्याचें वजन	$व_3$ ग्रॅ.
गोळ्याच्या धातूची वि. उ.	य.
उ. मा. पात्राच्या धातूची वि. उ.	क्ष.
थंड पाण्याचें उष्णमान	$उ_1$ सें.
मिश्रणाचें उष्णमान	$उ_2$ सें.

समजा ज्योतीचें उष्णमान ‘ऊ’ आहे

आतां दिलेली उष्णता = घेतलेली उष्णता

$$व_3 \times य \times (ऊ - उ_2) = (व_2 - व_1)(उ_2 - उ_1) + व_1 \times क्ष \times (उ_2 - उ_1)$$

अथवा

$$व_3 \times य \times (ऊ - उ_2) = (उ_2 - उ_1)\,[\,(व_2 - व_1) + व_1 \times क्ष\,]$$

$$\text{अथवा}\quad ऊ - उ_2 = \frac{(उ_2 - उ_1)\,[\,(व_2 - व_1) + व_1\,क्ष\,]}{व_3 \times य}$$

$$,,\quad ऊ = \frac{(उ_2 - उ_1)\,[(व_2 - व_1) + व_1\,क्ष]}{व_3 \times य} + उ_2$$

(१) ८० ग्रॅम वजनाचा प्लॅटिनमचा गोळा भट्टींत तापवून १५° सें. उष्णमानाचें पाणी असलेल्या उष्णतामापक पात्रांत टाकला तेव्हां त्या पाण्याचें उष्णमान २०° सें. झालें. उष्णतामापक पात्रांतील पाणी व त्याचें तुल्यजल मिळून ४०० ग्रॅम आहे. तर भट्टीचें उष्णमान काय ? (प्लॅटिनमची वि. उ. ०·०३६५)

समजा भट्टीचें उष्णमान क्ष° सें. आहे.

दिलेली उष्णता = घेतलेली उष्णता

$$८० \times \cdot०३६५ \times (क्ष - २०) = ४०० \times ५$$

अथवा $$\cdot०३६५ \times (क्ष - २०) = २५$$

,, $$(क्ष - २०) = \frac{२५}{\cdot०३६५}$$

$$= ६८४\cdot९$$

$$\therefore क्ष = ७०४\cdot९^\circ$$

$$\therefore भट्टीच उष्णमान = ७०४\cdot९^\circ सें.$$

घन पदार्थांची वि. उ. दर्शविणारें कोष्टक

अल्युमिनियम	०·२१२	शिसें	०·०३१
पितळ	०·०१४	कथिल	०·०५५
तांबें	०·०९३	जस्त	०·०९३
कांच	०·१६	वाळू	०·१९

द्रव पदार्थांची वि. उ. दर्शविणारें कोष्टक

मद्यार्क	०·६	टरपेन्टाइन	०·४६७
ग्लिसरीन	०·५८	बेनझीन	०'४१
पारा	०·०३३		

प्रश्नसंग्रह ३ रा

१. उष्णता व उष्णमान यांतील फरक नीट समजावून सांगा.

२. विशिष्ट उष्णता व उष्णताग्राहकशक्ति यांतील भेद उदाहरणांच्या सहाय्यानें विशद करा.

३. उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल म्हणजे काय? तें तुम्हीं प्रयोगानें कसें ठरवाल?

४. एका उष्णतामापक पात्रांत १५° सें. उष्णमानाचें ५९.४ ग्रॅम पाणी आहे. त्यांत ४०° सें. उष्णमानाचें ४५.३ ग्रॅम पाणी टाकलें असतां

मिश्रणाचें उष्णमान २५.४° सें. होतें तर उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल किती ?

५. एका ॲल्युमिनियमच्या उष्णतामापक पात्राचें वजन २६.२ ग्रॅम असून त्यांत ८३.६ ग्रॅम पाणी आहे. पाण्याचें उष्णमान १४.६ सें. आहे. एक ॲल्युमिनियमचा तुकडा १००.१° सें. पर्यंत तापवून त्यांत टाकला तेव्हां मिश्रणाचें उष्णमान १९.७° सें. झालें. ॲल्युमिनियमची वि. उ. ०.२१ असेल तर अल्युमिनियमच्या तुकड्याचें वजन काय ?

६. ५४.२ ग्रॅम वजनाच्या तांब्याच्या उष्णतामापक पात्रांत १८° सें. उष्णमानाचें ११७.२ ग्रॅम पाणी आहे. १४७.५ ग्रॅम वजनाचा तांब्याचा गोळा १००° सें. उष्णमानापर्यंत तापवून त्यांत टाकला तेव्हां मिश्रणाचें उष्णमान २६.३° सें. झालें. तांब्याची वि. उ. काय ?

७. द्रव पदार्थांची विशिष्ट उष्णता कशी ठरवाल ? प्रयोग द्या.

८. एका द्रवाचें विशिष्टगुरुत्व ०.८ आहे. समान आकारमानाच्या द्रवाच्या आणि पाण्याच्या उष्णताग्राहकशक्तींचें गुणोत्तर १ : २.२ आहे तर द्रवाची वि. उ. काय ?

९. ५० ग्रॅम वजनाचा तांब्याचा गोळा भट्टींत तापवून १० उष्ण-मानाच्या २५० ग्रॅम पाण्यांत टाकला, तेव्हां उष्णमान (मिश्रणाचें) १२,५° सें. झालें. उष्णतामापक पात्राचें तुल्यजल जर १५ ग्रॅम असेल तर भट्टीचें उष्णमान काय ?

१०. ४० ग्रॅम वजनाचा तांब्याचा गोळा भट्टींत तापवून १५° सें. उष्णमानाच्या १ किलोग्रॅम तेलांत टाकला, तेव्हां तेलाचें उष्णमान २० सें. झालें. तेलाची वि. उष्णता ०.८ असेल तर तांब्याच्या गोळ्याचें उष्णमान काय ?

प्रकरण ४ थें

उष्णतेचें स्थलांतर (Transmission of Heat).

(१) वहन Conduction.

शेगडींत गजाचें एक टोंक तापत ठेवलें तर त्याचें दुसरें टोंक तापतें. गजाचें दुसरें टोंक तापविण्याकरितां लागणारी उष्णता, गज ज्या पदार्थाचा असेल त्या पदार्थांतून ऊन भागाकडून थंड भागाकडे जात असते. ज्या रीतीनें उष्णता गजाच्या एका टोंकाकडून दुसऱ्या टोंकाकडे जाते त्या रीतीस ' **वहन** ' Conduction असें म्हणतात, व ज्या पदार्थांतून ती जाते त्यास ' **वाहक** ' Conductor म्हणतात. घन पदार्थ याच पद्धतीनें तापतात.

प्रयोग २८—सुमारें ४० सें. मी. लांब व एक सें. मी. जाड असा तांब्याच्या तारेचा तुकडा घ्या. एका टोंकापासून १० सें. मी. जागा सोडून तीन तीन सें. मी. अन्तरावर शिशाच्या बारीक गोळ्या मेणानें तारेस चिकटवा. एक टोंक स्पिरिटच्या दिव्याच्या ज्योतींत धरा व तारेस लावलेल्या गोळ्या कोणच्या क्रमानें पडतात तें पाहा. तापवीत असलेल्या टोंकाचे अगदीं जवळ असलेली गोळी पहिल्यानें, नंतर तिच्या पुढची, नंतर तिच्या पुढची अशा क्रमानें गोळ्या पडतात असें दिसेल.



आकृति २६

यावरून गजांतून जाणारी उष्णता ऊन भागाकडून थंड भागाकडे क्रमशः जाते हें सिद्ध होतें.

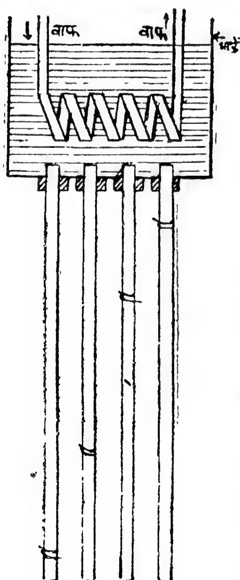
प्रयोग २९—वरील प्रयोगांतील गज तापविण्यापूर्वी त्यावर एक एक सेंटिमीटर अन्तरावर निरनिराळया रंगांच्या खडूंनीं खुणा करा व नंतर

गजाचें टोंक तापवा खुणांच्या रंगांच्या क्रमांत काहीं फरक होतो का पाहा. त्या क्रमांत मुळींच फरक होत नाहीं असें दिसेल.

यावरून गजांतून ऊन भागाकडून थंड भागाकडे उष्णता जाताना गजांतील कणांची सापेक्ष स्थिति बदलत नाही हें सिद्ध होते.

आगकाडी एका टोंकाकडे जळत असतां जर दुसऱ्या टोंकाकडून हातांत धरली तर हात भाजत नाहीं. यावरून लोखंडी गजाप्रमाणें लाकडां-मधून एका टोंकांपासून दुसऱ्या टोंकाकडे उष्णता जात नाहीं हें उघड आहे.लांकडासारख्या ज्या पदार्थांतून उष्णता जात नाहीं त्यास **मंदवाहक** Bad Conductor म्हणतात.

पदार्थ उष्णतावाहक आहे किंवा नाहीं हें बहुधा त्यास हात लावून समजतें. थंडीच्या दिवसांत लोखंडी तुकडा त्याच उष्णमानाच्या लांकडी तुकड्यापेक्षां थंड वाटतो. लोखंड हें चांगले उष्णतावाहक असल्यानें हातांतील उष्णता त्याच्या सर्व भागांत पसरते म्हणून तें हातास थंड लागतें; याचे उलट लांकूड मंदवाहक असल्यानें त्याचा जो भाग हातास चिकटलेला असतो तेवढ्याच भागांत उष्णता पसरते म्हणून तो लोखंडाइतका थंड वाटत नाहीं.



आकृति २७

साधारणत: सर्व धातू चांगले उष्णतावाहक असतात. कांच, लांकूड, हवा लोंकर वगैरे पदार्थ मंदवाहक असतात.

सर्व पदार्थांची उष्णतावाहक शक्ति सारखी नसतें

प्रयोग ३०—सारख्याच जाडीचे व सुमारें ४०-४५ सें. मी. लांबीचे निरनिराळ्या पदार्थांचे गज घ्या. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें प्रत्येक गजाचा सारख्याच लांबींचा भाग पाण्यांत बुडलेला राहील अशा रीतीनें ते एका चौकोनी डब्याच्या बुडांत बसवा. प्रत्येक गजावर त्या वरून

सहज घसरेल अशी एकएक कडी बसवा. कडी एकदम खालीं घसरूं नये म्हणून गजाच्या डब्याबाहेर असणाऱ्या भागावर मेणाचा बारीक थर द्या. डब्यांत उकळतें पाणी घाला व त्याचे उष्णमान कायम राहावें म्हणून पोकळ गुंडाळीं-तून सारखी वाफ जाऊं द्या. उष्णतेमुळें गजांतील प्रत्येक बिंदूचें उष्णमाम वाढूं लागतें व ज्यावेळीं त्यास मिळणारी उष्णता त्यांतून बाहेर पडणाऱ्या उष्णतेइतकी होते तेव्हां तें स्थिर होते. मेण वितळल्यामुळें प्रत्येक गजावरील कडी किती खालीं सरकली आहे तें पाहा. प्रत्येक गजावर ती सारख्याच लांबीपर्यंत खालीं आलेली नाहीं असें दिसेल. ज्या मानानें ती कडी अधिक खालीं सरकते त्या मानानें त्या पदार्थाची उष्णतावाहक शक्ति अधिक असते.

पदार्थ ऊन होण्याचें प्रमाण त्या पदार्थाच्या उष्णतावाहक शक्तीवर व त्याच्या विशिष्ट उष्णतेवर अवलंबून असते.

प्रयोग ३१—सारखा व्यास असलेल्या लोखंडाच्या व शिशाच्या गजाचे दोन तुकडे घ्या. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें भांड्याच्या एका बाजूस



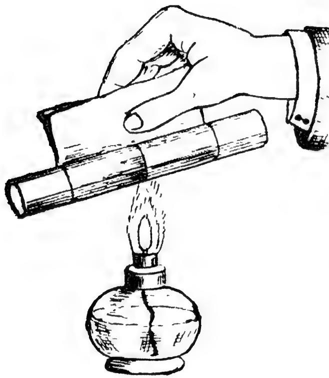
आकृति २८

लोखंडाचा व दुसऱ्या बाजूस शिशाचा गज बसवा. त्यांचा सारख्याच लांबीचा भाग भांड्यांत उघडा राहील असे करा. त्या गजांना सारख्या सारख्या अन्तरावर मेणानें लहान लहान शिशाच्या गोळ्या चिकटवा. भांड्यांत उकळतें पाणी ओता. त्याचे उष्णमान कमी होऊं नये म्हणून वरील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें व्यवस्था करा. कोणच्या गजावरील गोळ्या पहिल्यानें पडूं लागतात व कोणच्या गजावरील गोळ्या भांड्यांपासून अधिक लांबीपर्यंत खालीं पडतात हें पाहा. शिशाच्या गजापासून गोळ्या पहिल्यानें पडूं लागतात पण लोखंडाच्या गजावरूनच अधिक लांबीपर्यंतच्या गोळ्या पडतात असें दिसेल.

शिशाची वि. उ. (०·०३१) ही लोखंडाच्या वि. उ. (०·११२) पेक्षां फारच कमी असल्यानें शिशास एका ठराविक उष्णमानापर्यंत ताप–विण्यास लोखंडापेक्षां फारच कमी उष्णता लागते व म्हणून शिशाचा गज लवकर तापतो; पण लोखंडाची उष्णतावाहक शक्ति शिशापेक्षां जास्त असल्यानें लोखंडी गजावर अधिक लांबीपर्यंत मेण वितळतें व म्हणून त्या वरून अधिक लांबीपर्यंतच्या गोळ्या पडतात.

तांबें लांकडापेक्षां चांगले उष्णतावाहक असतें

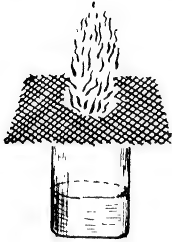
प्रयोग ३२—एक इंच व्यास असलेल्या तांब्याच्या नळीचा सुमारें ८″ लांबीचा तुकडा घ्या. नळीच्या बाहेरील व्यासाएवढा व्यास असलेला तेवढाच लांब लांकडी दंडगोल घ्या. लांकडी दंडगोलाचें एक तोंड किंचित् बारीक करून तांब्याच्या नळींत घट्ट बसवा. त्यांच्या जोडावर एक कागद घट्ट गुंडाळा. दिव्याच्या ज्योतीवर तो जोड दंडगोल इकडून तिकडे कांहीं वेळ फिरवा. या जोड दंड-गोलाच्या कोणच्या भागावरील कागद जळालेला दिसतो तें पाहा. त्याच-प्रमाणें कागद काढून घेऊन या जोड दंडगोलाचा कोणता भाग अधिक तापलेला आहे हें त्यास हात लावून पाहा. लांकडी भागावरील कागद जळालेला दिसेल व लांकडी भागापेक्षां तांब्याचा भाग पुष्कळच अधिक तापलेला आहे असें त्यास हात लावतांच आढळून येईल.



आकृति २९

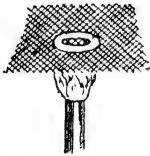
यावरून दिव्यापासून कागदास मिळत असलेल्या उष्णतेचा बराचसा भाग तांबें काढून घेतें व लांकूड ती उष्णता काढून घेत नाहीं हें सिद्ध होतें.

तांबें कागदापासून उष्णता काढून घेत असल्यामुळें कागदाचे उष्णमान तो जळण्याकरतां जितकें व्हावयास पाहिजे तितकें होत नाहीं म्हणून तेथील कागद जळत नाहीं, पण लांकूड कागदापासून उष्णता काढून घेत नसल्यानें कागदाचें उष्णमान तो जळण्याकरतां जेवढें व्हाव-यास पाहिजे तेवढें होतें व कागद जळूं लागतो.


आकृति ३०

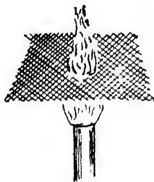
कागदाच्या द्रोणांत भजी तळण्याची क्रियाहि याच तत्त्वावर अवलंबून असते.

प्रयोग ३३—एका कांचेच्या भांड्याच्या तोंडावर लोखंडी जाळी ठेवा. जाळीवर जळतें स्पिरिट ओता. खालीं पडत असलेलें स्पिरिट जळत असतें किंवा विझलेलें असतें तें पाहा. तें विझलेलें असतें असें दिसेल.


आकृति ३१

प्रयोग ३४—बन्सनचा दिवा पेटवा व ज्योतीवर एक लोखंडी जाळी धरा. ज्योत जाळीच्या खालींच जळते किंवा वरहि जळते तें पाहा. ज्योत फक्त जाळीच्या खालीच जळते, वर जळत नाहीं असें दिसेल.

जाळी सछिद्र असल्यानें जळणाऱ्या वायूस जाळींतून वर जाण्यास अडथळा होत नाहीं, तरी देखील तो वायु जाळीचें वर पेटत नाहीं. जाळी लाल तापल्यानंतर मात्र तो वर जळूं लागतो.


आकृति ३२

प्रयोग ३५—बन्सनच्या दिव्यांतून जळणारा वायु निघत असतां त्याच्या तोंडापासून कांहीं उंचीवर लोखंडी जाळी धरा. जाळींतून निघणारा वायु पेटवा तो जाळीचे वरच जळतो किंवा जाळीचे खालींहि जळतो याचे निरीक्षण करा. तो फक्त जाळीचें वरच जळत असून जाळीचे खालीं जळत नाहीं असें दिसेल.

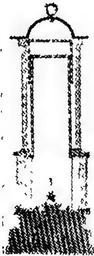
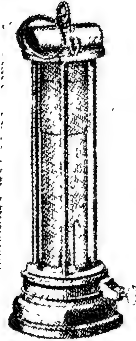
लोखंडी जाळी चांगली उष्णतावाहक असल्यानें ज्योतींतील उष्णता तिच्या सर्व भागात पसरते व जाळीच्या दुसऱ्या अंगास असणाऱ्या स्पिरिटचें अथवा बन्सनच्या दिव्यांत जळणाऱ्या वायूचें उष्णमान जळण्या करतां जितकें व्हावयास पाहिजे तेवढें होऊं देत नाहीं; म्हणून जाळीचे एकां अंगास जरी ज्योत जळत असली तरी दुसऱ्या अंगास असलेले स्पिरिट अथवा जळणारा वायू पेट घेत नाहीं.

वरील प्रयोगांतील तत्त्वावरच डेव्हीच्या संरक्षक दिव्याची योजना केलेली आहे.

उघडया ज्योतीचा दिवा कोळशांच्या खाणींत नेल्यास तेथें असणारा स्फोटकारक वायु पेटतो व स्फोट होतो. म्हणून डेव्हीच्या संरक्षक दिव्याचा उपयोग करतात.

डेव्हीचा संरक्षक दिवा

या दिव्यांत दिव्याच्या ज्योतीभोंवतीं एक लोखंडी जाळीचे नळकाडें असते. दिवा जळण्यास लागणारी हवा जाळींतूनजात असते. या हवेबरोबर पेटणारा वायूहि आंत जातो. तो वरील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें जाळीचें आंतच जळतो पण बाहेर पेटूं शकत नाहीं, त्यामुळें स्फोट होण्याचा संभव नसतो. दिव्याचे भोंवती लोखंडी जाळीचें नळकाडे घालण्याचे दुसरेहि एक महत्त्वाचे कारण आहे. हवेंत जर (कॅरबॉनिक ॲसिड वायु) कर्बाम्ल वायूचें प्रमाण थोडें अधिक असेल तर खाणींतील वायु व हवा यांचा स्फोट होऊं शकत नाहीं असें प्रयोगांती सिद्ध झालें आहे. जाळींतून हवा अथवा वायु अगदींच मोकळेपणानें जात नसल्यामुळें दिव्याच्या ज्वलनामुळें उत्पन्न होणारा कर्बाम्ल वायु जाळींतून एकदम बाहेर जात नाहीं, व जाळीचें

आकृति ३३

आंतील भागांत या वायुचें प्रमाण वाढतें; यामुळें खाणींतील वायु स्फोट न होता जाळीचे आंत जळतो.

खाणींतील या वायुचें प्रमाण स्फोट होण्यास पुरेसें झालें आहे किंवा नाहीं हें खाणींतील माणसास या दिव्याच्या सहाय्यानें ठरवितां येते. दिव्याची ज्योत लहान केली असतां त्या ज्योतीवर जर निळसर रंगाची दुसरी ज्योत दिसत असेल तर वायुचें प्रमाण पुरेसें वाढलें आहे असें समजतात.

कांचेचच भांडें तापविलें असता कां फुटतें ?

धातू हें सामान्यतः चांगले उष्णतावाहक असल्यानें धातूंची भांडीं तापत असतां त्याच्या आंतील व बाहेरील भागाचें उष्णमान जवळ जवळ सारखेंच असतें. त्यामुळें त्या दोन्ही भागांचें प्रसरणहि सारखें होतें व एकाद्या ठिकाणींच ताण पडत नाहीं; पण कांच मंदवाहक असल्यानें कांचेचें भांडें जेव्हां आपण तापवितो, तेव्हां त्या भांडयाच्या प्रत्यक्ष ज्योतीवर असलेल्या भागाचें उष्णमान इतर भागापेक्षां पुष्कळच वाढतें व त्याचे प्रसरण सारखें होत नाहीं, यामुळें एकाद्या विशिष्ट ठिकाणीं ताण अधिक पडतो व भांडें फुटतें.

कांचेची भांडीं तापविताना फुटूं नयेत म्हणून त्यांच्या खालीं लोखंडी जाळी ठेवतात. लोखंडी जाळीमुळें भांडयाच्या सबंध बुडास सारखी उष्णता मिळते व एका ठिकाणींच ताण पडत नाहीं.

सिलिका (Silica) वितवळून केलेली भांडीं लाल तापवून जरी थंड पाण्यांत एकदम बुडविलीं तरी फुटत नाहींत. सिलिका वितळवून झालेला पदार्थ जरी कांचेसारखा मंदवाहक असला तरी त्याचा प्रसरणगुणक अत्यंत कमी असल्याने त्याचा कांहीं भाग गरम व कांहीं थंड असतां एका ठिकाणींच ताण अधिक पडत नाहीं व भांडें फुटत नाहीं.

तांब्याच्या उष्णतावाहक शक्तीचा व्यावहारिक उपयोग.

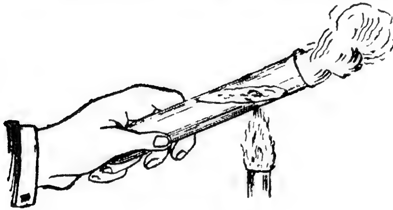
चोरांचा उपद्रव होऊं नये म्हणून ज्या मजबूत खोल्या बांधतात त्यांची दारें तयार करण्याचें कामीं तांब्याचा उपयोग करतात. हीं दारें मुख्यतः

फूट दीड फूट जाडीच्या अशा प्रचंड तांब्याच्या ठोकळ्याची असतात. तांब्याचा द्रवीभवन बिंदु कमी असल्याने ‘ आक्सि–असिटेलीन ’ सारख्या तीव्र किंवा उच्च उष्णमानाच्या ज्योतीनें तीं सहज फोडतां येतील असें वाटते; पण तांबें उत्तम उष्णतावाहक असल्यानें ज्या जागीं या दिव्याची ज्योत लावलेली असते तेथून उष्णता ठोकळ्याच्या इतर भागाकडे ताबडतोब वाहून नेली जाते व म्हणून तांबें लवकर वितळत नाहीं.

द्रव पदार्थ उष्णतेचे मंदवाहक असतात.

प्रयोग ३६—एका भांड्यांत कांहीं मनुका ठेवा. त्या चांगल्या बुडतील इतकें स्पिरिट त्यांत ओता. नंतर स्पिरिट पेटवा. स्पिरिट जळत असतांना भांड्यांतील मनुक चिमट्यानें चटकन काढून खा व तोंड भाजतें कां पाहा. तें भाजत नाहीं असें आढळेल.

प्रयोग ३७—एका परीक्षण नळींत ती अर्ध्याचे वर भरेल इतकें थंड पाणी घ्या. उष्णमानमापकाचा फुगा नळीच्या बुडाशीं राहील अशा रीतीनें एक उष्णमानमापक नळींत ठेवा व उष्णमान पाहा. पाण्याच्या पृष्ठभागाजवळ नळीस तापवा. वरचें पाणी उकळूं लागलें म्हणजे पुन: उष्णमान पाहा. नळीच्या बुडाजवळ असलेल्या पाण्याच्या उष्णमानांत फरक झालेला आढळणार नाहीं.



आकृति ३४

वरील प्रयोगावरून द्रव पदार्थ उष्णतेचें मंदवाहक असतात हें सहज दिसेल.

वायुरूप पदार्थ देखील उष्णतेचे मंद वाहक असतात.

प्रयोग ३८—पाव इंच जाडीचा चुन्याचा खडा हातावर घेऊन त्यावर तापलेला लोखंडी गज ठेवा, व हात भाजतो कां पाहा; नंतर पाव इंच जाडीचा चुन्याच्या भुकटीचा थर हातावर ठेवा. त्यावर भुकटी दाबली जाणार नाहीं अशा रीतीनें तापलेला लोखंडी गज ठेवा. यावेळीं हात भाजतो

का पाहा. चुन्याचा खडा हातावर असतां हात भाजतो पण चुन्याची भुकटी हातावर असतां हात भाजत नाहीं असें दिसेल.

चुन्याची भुकटी केल्यानें बऱ्याचशा हवेचा त्यांत समावेश होतो व या हवेमुळें आपल्या हाताकडे उष्णता येत नाहीं म्हणून हात भाजत नाहीं.

यावरून हवा मंदवाहक (उष्णतेची) असते हें सिद्ध होतें.

हवेच्या मंद वाहकपणाचे व्यावहारिक उपयोग

(१) बर्फ वितळूं नये म्हणून तें लांकडाच्या भुशांत ठेवतात.

(२) बर्फ ठेवण्याची पेटी पोकळ बाजूंची असते.

(३) उष्णतामापक पात्रांत दोन भांडीं एकांतएक याप्रमाणें ठेवलेली असतात.

(४) हिवाळ्यांत लोंकरीचें कापड वापरतो. लोंकरीचें धाग्यांना पुरेसा पीळ नसल्यानें तो धागा सुती धाग्यापेक्षां पोकळ असतो व तें कापडहि सुती कापडापेक्षां पोकळ विणलेलें असतें त्यामुळें त्यांत पुष्कळ हवा राहते. हवा उष्णतारोधक असल्यानें आपल्या अंगांतील उष्णता कमी होत नाहीं. खादीच्या कपड्यांना गिरणींतील कापडापेक्षां अधिक ऊब असते याचें देखील हेंच कारण आहे.

(५) घरास आग लागली असता महत्वाची कागदपत्रें ज्या तिजोऱ्यांतून ठेवतात त्यांच्या बाजू पोंकळ असून त्यांत वाळू भरलेली असते.

समुद्रकिनाऱ्यावर असणाऱ्या ठिकाणांचे हवामान साधारणतः सर्व वर्षभर सारखेंच कां असते ?

(१) माती किंवा खडक हे उष्णतारोधक किंवा मंदवाहक पदार्थ असल्यानें सूर्यापासून मिळालेली उष्णता जमिनीच्या पृष्ठभागापासून फार खोलपर्यंत जाऊं शकत नाहीं म्हणून जमिनीचा पृष्ठभाग फार तापतो; याचे उलट समुद्रांत मोठमोठ्या लाटा उत्पन्न होत असल्यानें पाण्यांत सारखी ढवळाढवळ होते व पाण्याच्या पृष्ठभागास मिळत असलेली उष्णता पुष्कळ खोलपर्यंत जाते. उष्णमानांत दररोज होणारे फरक हे कित्येक वेळां ३००। ३०० फूट खोलीपर्यंत देखील आढळून येतात. सूर्यापासून मिळालेल्या

उष्णतेनें या रीतीनें पुष्कळ पाणी तापत असल्यानें त्याचे उष्णमान फार वाढत नाहीं. या कारणास्तव दररोज जमिनीचे उष्णमानामध्यें फार फरक होतो पण समुद्राचे उष्णमानात तसा तो होत नाहीं.

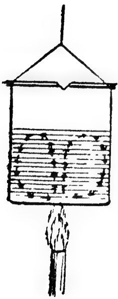
(२) पाण्याची विशिष्ट उष्णता मातीच्या वि. उ. पेक्षां पुष्कळ जास्त असते, त्यामुळें पाणी जमिनीपेक्षां फारच कमी तापते.

म्हणून समुद्र किनाऱ्यावर असणाऱ्या ठिकाणीं सर्व ऋतूंत साधारणतः सारखेंच उष्णमान असते. पण समुद्रापासून दूर असलेल्या ठिकाणीं मात्र हवामानांत फार फरक होतो.

(२) **प्रापण** Convection

परीक्षण नळींत पाणी घेऊन नळीस पाण्याच्या पृष्ठभागाजवळ उष्णता दिली असतां बुडाकडील पाणी तापत नाही ही गोष्ट आपण मागें पाहिलीच आहे. पण नळीचे बुडास उष्णता दिली असता नळींतील पाणी तापतें. धातूंचे बाबतींत आपला अनुभव याहून अगदीं भिन्न आहे. धातूच्या गजास वरच्या किंवा खालच्या कोणच्याहि टोंकास उष्णता दिली असतां तो तापतो. यावरून पाणी तापण्याची क्रिया धातूचा गज तापण्याच्या क्रियेपेक्षां अगदीं भिन्न आहे हें उघड आहे.

प्रयोग ३९—एक रुंद तोंडाचें चंचुपात्र (beaker) घ्या. त्याच्या बुडावर, पात्राच्या मध्यभागी थोडी रंगीत खडूची बारीक पूड ठेवा. खडूची पूड हालणार नाहीं अशा बेतानें त्यांत तीन चार इंच उंचीपर्यंत पाणी भरा. चंचुपात्र तिपाईवर **जाळी न ठेवतां** ठेवून खडू ज्या जागीं असेल त्या जागीं दिव्यानें तापवा. खडूच्या कणात हालचाल होते का पाहा. हालचाल होत असल्यास ती कांहीं विशेष प्रकारची आहे का हेंहि अवलोकन करा. तुम्हांस असें दिसेल कीं, भांड्याचा जो भाग तापत असेल त्यावरील खडूचें कण वर जाऊं लागतात वर गेल्यावर ते थंड बाजूकडे जातात व पुनः भांड्यास ज्या जागीं उष्णता मिळत असेल त्या जागीं येतात यावरून, पाणी तापत असतां त्यांत एक प्रकारचा प्रवाह सुरू होतो हें सिद्ध होतें.

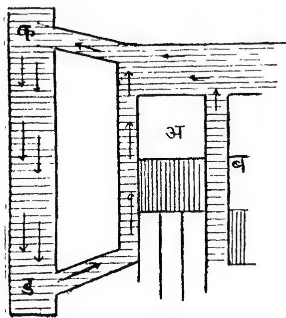

आकृति ३९

खडू स्वत: हालूं शकत नाहीं पण तो हलका असल्यानें पाण्याच्या हालचालीनें हालतो, म्हणून खडूच्या कणांच्या हालचालीवरून पाण्याच्या हालचालीची कल्पना करतां येते. खडूचे कण भाड्याच्या तापलेल्या भागापासून वर जातात व थंड भागाकडून खाली येऊन पुनः त्याच जागीं येतात यावरून पाणी देखील भांड्याच्या तापलेल्या भागावरून ऊन होऊन वर जात असले पाहिजे व त्याच्या जागीं बाजूकडील थंड पाणी तेथें येत असलें पाहिजे.

पाण्यांत अशा प्रकारचे प्रवाह उत्पन्न होण्याचें कारण अगदीं सहज समजण्यासारखें आहे. पाणी तापले म्हणजे तें इतर पदार्थांप्रमाणें प्रसरण पावतें व त्याची घनता कमी होते. कमी घनतेच्या द्रवाची नैसर्गिक प्रवृत्ति त्यापेक्षां अधिक घनतेच्या द्रवाचें वर जाण्याची असल्यानें तापलेलें पाणी वर जातें व त्याच्या जागीं थंड पाणी तेथें येतें. पाणी तापत असतां त्यांत अशा प्रकारचे जे प्रवाह उत्पन्न होतात त्यांस '**प्रापणप्रवाह**' (Convection currents) म्हणतात व ज्या रीतीनें पाणी तापतें त्या रीतीस '**प्रापण**' (convection) म्हणतात. सर्व द्रव पदार्थ—पारा सोडून—याच पद्धतीनें तापतात.

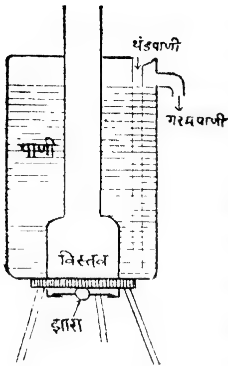
प्रापणप्रवाहांचें उपयोग.

(१) मोटार गाड्यांतील एन्जिनचे सिलींडर (cylinder) थंड ठेवण्याकरता प्रापण प्रवाहांचा उपयोग करतात. गाडीचे एंन्जिन ज्यावेळीं चालू असतें त्यावेळीं त्यांतील सिलींडर 'अ' 'ब' हे वायूच्या स्फोटामुळें गरमहोतात, व त्यामुळें त्यांच्या भोंवतीं असलेल्या वलयांमधील पाणीहि गरम होते. हें ऊन पाणी तेथून 'क' या **विसर्जकाकडे** (radiator) जाते. या पाण्याच्या जागीं 'ड' मधून वलयांत थंड पाणी येते. याप्रमाणें एंजिनमुळें तापलेलें पाणी तेथून दूर म्हणजे विसर्जकाकडे जाते, तेथें पंख्याच्या वाऱ्याने थंड होते व पुनः एंजिनकडे येते.



आकृति ३६

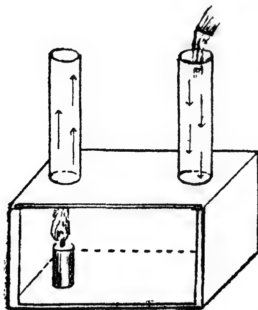
(२) **गरम झरा**–याच्या रचनेंतहि प्रापण प्रवाहांचा उपयोग केलेला असतो. विस्तवामुळें गरम झालेलें पाणी त्याची घनता कमी झाल्यामुळे वर जातें व त्याच्या जागीं बाजूचें थंड पाणी येतें. अशा रीतीनें त्यांतील पाणी तापतें. थंड पाणी ओतण्याच्या नसराळयाचें तोंड त्या भांडयाच्या बुडापर्यंत गेलेलें असतें. यांतून थंड पाणी ओतलें म्हणजे तें सरळ बुडाशी जातें. त्याची घनता भांडयांतील ऊन पाण्याच्या घनतेपेक्षां जास्त असल्यानें ऊन पाणी वर ढकललें जातें व तें तोटींतून बाहेर पडते. थंड पाणी घालून गरम पाणी निघतें म्हणून यास '**गरम झरा**' म्हणतात.



आकृति ३७

कागदाची बारीक पट्टी स्पिरिटच्या दिव्याच्या ज्योतीच्या बाजूस कांही अंतरावर धरली तर ती हालतदेखील नाहीं पण तीच पट्टी ज्योतीवर तेवढ्याच अंतरावर धरल्यास वरवर उडूं लागते, यावरून द्रवाप्रमाणें वायुरूप पदार्थांतहि प्रापण प्रवाह उत्पन्न होत असले पाहिजेत.

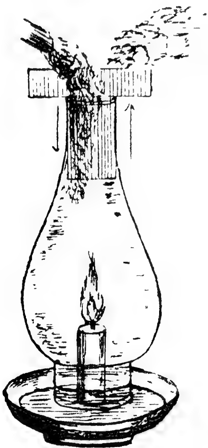
प्रयोग ४०–एका चौकोनी पेटीस एका अंगास काच लावा. वर दोन छिद्रें करून त्यांवर दोन काचेच्या नळया बसवा. एका छिद्राखालीं एक मेणबत्ती जळत ठेवा. कागदाचा तुकडा सोऱ्याच्या द्रावणांत भिजवून वाळवा. कागद पेटवा व एका नळीचे तोंडाशी धरा. त्यापासून निघणाऱ्या धुराची दिशा पाहा. त्याचप्रमाणें तो दुसऱ्या नळीच्या तोंडाशी धरा व पूर्वीप्रमाणेंच धुराची दिशा पाहा. डावीकडील नळीवर कागद धरला असतां त्यापासून निघणारा धूर वर जातो व उजवीकडील नळीवर धरला असतां तो आत शिरतो असें दिसेल.


आकृति ३८

यावरून डावीकडील नळींतून ज्योतीमुळें गरम झालेली हवा वर जाते व तिच्या जागीं थंड हवा दुसऱ्या नळींतून पेटींत येतें हें सहज समजेल.

दिवा जळत असल्यानें डावीकडील नळीमधून जाणाऱ्या हवेंत दिव्याच्या ज्वलनामुळें उत्पन्न होणारा कर्बाम्ल वायु असतो. हा त्याच्याच उष्णमानाच्या हवेपेक्षां जड असल्यानें ही कर्बाम्लमिश्रित हवा वास्तविक खालींच राहावयास पाहिजे; पण दिव्याच्या उष्णतेमुळें ती इतकीं तापलेली असतें कीं तिच्यांत कर्बाम्ल वायु मिसळलेला असूनहि ती बाकीच्या हवेपेक्षां हलकी होते व नळींतून बाहेर जाते.

(३) खाणींत शुद्ध हवा कशी पुरवितात?—पूर्वी खाणींतून स्वच्छ हवा पुरविण्याकरतां वरील प्रमाणेंच योजना करीत असत. खाणीच्या दोन टोंकास दोन भोकें करून त्यापैकीं एकाखालीं विस्तव जळत ठेवीत असत. विस्तवामुळें गरम झालेली हवा एका भोंकातून वर जात असल्यानें तिची जागा भरून काढण्याकरतां दुसऱ्या भोकांतून थंड हवा आंत शिरत असे व याप्रमाणें खाणींत काम करणाऱ्या माणसांना शुद्ध हवा पुरविली जात असे. अलीकडे काम करणाऱ्या माणसांना शुद्ध हवा मोठमोठ्या विजेच्या पंख्यांनीं पुरविली जाते.


आकृति ३९

वरील प्रयोगांत प्रापण प्रवाह सुरू करण्याकरतां दोन नळ्यांची आवश्यकता असतें हें पुढील विवेचनावरून सहज लक्षांत येईल.

काचेच्या बशींत जळत असलेली मेणबत्ती दिव्याच्या चिमणींत ठेवली तर विझते. कारण ज्वलनामुळें उत्पन्न होणारा कर्बाम्ल वायु हा चिमणींतील हवेपेक्षां जड असल्यामुळे बुडाशीं गोळा होतो व ज्वलनक्रियेस अवश्य असा प्राण-वायु ज्योतीस मिळत नाहीं; पण याच चिमणीच्या तोंडात इंग्रजी T च्या आकाराचा खरड्याचा तुकडा घातला तर ती पूर्ववत् जळूं लागते. खरडयाच्या तुकडयानें चिमणीचे दोन भाग होतात. एका भागांतून ज्योतीमुळे गरम झालेली हवा बाहेर जाते व दुसऱ्या भागांतून थंड हवा

आंत शिरते. ही गोष्ट खरड्याच्या दोन्ही अंगास धुराच कागद क्रमा-क्रमाने ठेवल्यास सहज दिसूनयेईल.

(४) **'घरांतील हवा शुद्ध कशी राखतात ?'**—घरांत शुद्ध हवा खेळत राहावी म्हणून प्रावण प्रवाहाचाच उपयोग करतात. उच्छवासित गरम हवा खोलींतून बाहेर जाण्याकरता छताचेजवळ हवाकशा(ventilators) बसवितात व शुद्ध हवा यावी म्हणून खालीं जाळ्या बसवितात. उच्छवासित हवेंत कर्बाम्ल वायूचे प्रमाण जास्त असते. तिचे उष्णमान बाहेरील हवेइतकें झाल्यास ती जड असल्याने खालीं राहील. म्हणून ती थंड होण्यापूर्वीच बाहेर काढली पाहिजे. याकरतां हवाकशा जमीनीपासून १२ फुटापेक्षां अधिक उंचीवर केव्हांहि असू नयेत.

'दिव्यास चिमणी का लावतात ?'

ज्याप्रमाणें आपल्या जीवनास शुद्ध हवेची आवश्यकता असते, त्याप्रमाणें दिवा नीट जळण्यासहि शुद्ध हवेची आवश्यकता असते. दिव्यास चिमणी लावल्यानें ज्योतीमुळें तापून हलकी झालेली हवा चिमणीच्या वरच्या तोंडांतून बाहेर जाते व चिमणीचे खालीं असलेल्या जाळींतून शुद्ध हवा आंत येते आणि ज्वलनास लागणारा ऑक्सिजन पुरविते. याप्रमाणें हवा एकाच दिशेनें वाहात असल्यानें दिवा नीट जळतो.

गिरण्यांना उंच उंच धुरांडी असण्याचें देखील हेंच कारण आहे. चिमणी जितकी उंच असेल तितकी तिच्यांतून बाहेर पडणारी हवा हलकी व्हावी लागते म्हणजे आंतील हवेचा दाब बाहेरील हवेच्या दाबापेक्षां कमी व्हावा लागतो. हा दाब आंतील हवा तापून हलकी झाल्यामुळें कमी झाला म्हणजे बाहेरील हवा जोरानें आंत जाते व भट्टीस शुद्ध हवा मिळते. हवा चिमणींतून वर जातांना निवत असल्यानें कांहीं एका उंचीवर तिची व बाहेरील हवेची घनता एक होते व हवा बाहेर जाण्याचे थांबते. याकरतां धुरांडी फार उंच असूं नयेत.

आगगाड्यांच्या एन्जिनांची धुरांडी उंच करणें गैरसोयीचें असल्यानें, दट्ट्या ढकलण्याचें काम करून निःशक्त झालेली वाफ धुरांड्याचें खालीं जोरानें सोडून तेथें किंचित् निर्वात भाग उत्पन्न करतात. त्यामुळें बाहेरील हवा जोरानें आंत घुसते व भट्टीस शुद्ध हवा मिळते.

निसर्गांतील प्रापण प्रवाह

(१) **मतलय वारे व खारे वारे** (Land and sea breezes)—जमिनीची वि. उ. पाण्याच्या वि. उ. पेक्षा कमी असल्यानें दिवसा सूर्याच्या उष्णतेमुळें जमीन पाण्यापेक्षां लवकर व अधिक तापते आणि रात्रीं लवकर व अधिक थंड होते. दिवसा जमिनीवरील हवा समुद्रावरील हवेपेक्षा गरम असते व रात्रीं ती समुद्रावरील हवेपेक्षां थंड असतें. यामुळें हवेंत



आकृति ४०

प्रापण प्रवाह सुरू होतात आणि दिवसा समुद्राकडून जमिनीकडे व रात्रीं जमिनीकडून समुद्राकडे याप्रमाणें वारे वाहतात. या वाऱ्यामुळें समुद्र-कांठीं असणाऱ्या ठिकाणाचें हवामान त्याच अक्षांशावर समुद्रापासून दूर असणाऱ्या ठिकाणापेक्षां अधिक समशीतोष्ण असतें.

(२) **व्यापारी वारे** (Trade winds)—विषुववृत्तावरील भाग सूर्याच्या उष्णतेमुळें इतर भागापेक्षा अधिक तापतो, तेथील हवा गरम होऊन वर जाऊं लागते व तिची जागा भरून काढण्याकरतां विषुववृत्ताच्या उत्तरेकडून आणि दक्षिणेकडून विषुववृत्ताकडे वारे वाहतात. पृथ्वी फिरत असते व विषुववृत्ताचे ठिकाणीं तिची गति महत्तम असते; यामुळें विषुव-वृत्ताकडे येणारी हवा ज्या ठिकाणाकडे येत असते त्याच्या मागें राहतें व वाऱ्यांची दिशा दक्षिण–उत्तर अथवा उत्तर–दक्षिण याप्रमाणें न राहतां उत्तर गोलार्धांत इशान्येकडून नैऋत्येकडे व दक्षिण गोलार्धांत आग्नेयेकडून वायव्येकडे याप्रमाणें असतें.

(३) **मोसमी वारे** (Monsoons)–हे वारे देखील निसर्गातील प्रापण प्रवाहामुळें उत्पन्न होतात. २२ मार्च नंतर पृथ्वीचा विषुव वृत्ताच्या उत्तरेकडील भाग सूर्यासमोर येत असल्यानें तेथील भूभाग म्हणजे आशियाखण्ड त्याच्याजवळ असलेल्या हिंदी महासागरापेक्षां अधिक तापतो. यांमुळें तेथील हवा वर जाते व तिची जागा भरून काढण्याकरतां जूनच्या सुमारास हिंदीं महासागराकडून मध्य आशियाकडे वारे वाहूं लागतात. हे वारे उष्ण असून समुद्रावरून येत असल्यानें त्यात पुष्कळ आर्द्रता असते. हें वारे मोटमोठ्या पर्वतावर अडत असल्यानें पुष्कळ उंच चढतात. या ठिकाणीं [१] थंडी फार असते व [२] दाव कमीं असल्यानें हवा एकदम प्रसरण पावते व अशा रीतीनें प्रसरण पावण्याकरता तेथें असलेली हवा दूर लोटावी लागतें. हे कार्य करण्याकरता उष्णतारूपी शक्ति खर्च होते. या दोन्हीं कारणामुळें ते थंड होतात व ते थंड झाल्यामुळें त्याच्यातील वाफ गोटून पाऊस पडूं लागतो.

याच्या उलट २२ सप्टेंबरनंतर जेव्हां विषुववृत्ताच्या दक्षिणेकडील भाग सूर्यासमोर येतो तेव्हा वरील भूभाग त्याच्याजवळ असलेल्या समुद्रापेक्षां अधिक थंड होतो व वारे मध्य आशियाकडून हिंदी महासागराकडे म्हणजे ईशान्य–नैऋत्य वाहूं लागतात. हे वारे जमिनीवरून येत असल्यानें यांत आर्द्रता असत नाहीं म्हणून आक्टोबर ते मार्च या महिन्यांत पाऊस पडण्याचा संभव नसतो.

(४)**समुद्र प्रवाह**(ocean currents)-विषुववृत्ताजवळील समुद्रांस सूर्याची उष्णता सारखी मिळत असल्यानें ते तापतात पण ध्रुवाजवळील समुद्रांस ती उष्णता मिळत नसल्याने ते अगदीं थंड असतात; म्हणून समुद्रांच्या पाण्यांत प्रापण प्रवाह सुरू होतात. वास्तविक हे प्रवाह सरळ ध्रुवाकडून विषुववृत्ताकडे व विषुववृत्ताकडून ध्रुवाकडे याप्रमाणें असें असावयास पाहिजेत.पण (१) पथ्वीची दैनंदिनगति,(२) प्रतिव्यापारी वारे (Anti-trade winds) व (३) समुद्रांत आंतपर्यंत गेलेले भूभाग इत्यादि कारणांमुळें ते वेगळ्याच दिशेनें वाहताना दिसतात.

(३) किरण विसर्जन Radiation

उन्हांत उभे राहिल्याबरोबर सूर्याची उष्णता आपणास भासूं लागते. सूर्य व पृथ्वी यांच्यामधील बराचसा भाग निर्वात असल्यानें सूर्याची उष्णता वहनानें आपणाकडे येणे संभवनीय नाहीं, कारण वहन क्रियेकरता माध्यमाची जरूरी असते, शिवाय वहन क्रियेनें उष्णता एका टोंकाकडून दुसऱ्या टोंकाकडे जाण्यास वेळही लागतो. तसा वेळ सूर्याची उष्णता आपणास मिळण्यास लागत नाहीं. ऊन झालेली हवा हलकी होत असल्यानें तिची वर वर जाण्याची प्रवृत्ति असते. तेव्हा सूर्याच्या उष्णतेनें गरम झालेली हवा खालीं आपणाकडे येणे शक्य नाहीं. तेव्हां सूर्यापासून आपणास मिळणारी उष्णता प्रापण प्रवाहामुळेंहि मिळत नाहीं. सूर्याची उष्णता मग निराळयाच रीतीनें आपणाकडे येत असली पाहिजे. ज्या रीतीनें ती आपणाकडे येते त्या रीतीस **किरण विसर्जन** (Radiation) म्हणतात.

उष्णतेची किरणें ज्या माध्यमांतून जातात तीं तापत नाहींत पण ज्या माध्यमांत तीं शोषलीं जातात तीं तापतात.

प्रयोग ४१—एक बाह्यगोल भिंग सूर्य किरणांशी काटकोन करून राहील असें धरा. भिंगाचे मागचे बाजूस व त्याला समांतर असा खरडयाचा एक तुकडा धरा व तो मागें पुढें सरकवा. भिंगाचा सूर्य किरणांवर काय परिणाम होतो तो पाहा. भिंगातून गेल्यावर तीं क्षीयमाणांतर होऊन एका बिंदूचे ठिकाणीं केंद्रित होतात असें दिसेल. या जागीं कागद धरा. तो जळूं लागतो असें दिसेल. कागद जळत असताना भिंगास हात लावून तें तापलें आहे किंवा नाहीं तें पाहा. तें थंडच आहे असें आढळेल.

या प्रयोगावरून (१) प्रकाश किरणाबरोबर उष्णतेची किरणेंहि जातात. (२) ज्या माध्यमांतून तीं जातात तें तापत नाहीं व (३) कागदासारख्या ज्या माध्यमातून ती जाऊं शकत नाहींत तीं माध्यमें तापतात, या गोष्टी सिद्ध होतात.

उन्हांत उभे राहून आपल्या डोळयावर हात धरल्यास हाताची सावली डोळयावर पडते व तत्क्षणींच उन्हाचा त्रासहि कमी होतो. यावरून प्रकाश

किरणांची व उष्णतेच्या किरणांची गति एकच असून तीं किरणें एकाच मार्गानें म्हणजे सरळ रेषेनेच जातात असें सिद्ध होते.

प्रयोग ४२–दोघाचे मुख्य आंस एकमेकांशीं जुळतील अशा रीतीनें दोन अंतर्गोल आरसे एकमेकासमोर ठेवा. एकाच्या केंद्रावर फॉस्फरस सारखा ज्वालाग्राही पदार्थ ठेवा व दुसऱ्याच्या केंद्रावर एक तापलेला गोळा अथवा दिव्याची ज्योत ठेवा. फॉस्फरसवर काय परिणाम होतो तो पाहा. तो ताबडतोब पेट घेतो असें दिसेल.

ज्योतीपासून निघालेलीं उष्णतेची किरणें आरशावर परावर्तन पावून त्याच्या मुख्य आंसास समांतर होतात व दुसऱ्या आरशावरून परावर्तन पावून फॉस्फरस ठेवलेल्या जागीं केंद्रित होतात म्हणून फॉस्फरस पेट घेतो.

यावरून प्रकाश किरणें ज्या नियमानुसार परावर्तन पावतात त्याच नियमानुसार उष्णतेचीं किरणेंहि परावर्तन पावतात हें सिद्ध होते.

वहन व प्रापण या क्रियांनीं होणारें उष्णतेचें स्थलांतर व किरण विसर्जनानें होणारे स्थलांतर यांत मुख्यत: पुढील भेद आहेत.

(१) **किरण विसर्जन क्रिया फक्त सरळ रेषेंतच होते**, तर वहन आणि प्रापण क्रिया निरनिराळ्या दिशांनीं होतात.

(२) **किरण विसर्जन क्रिया अत्यंत जलद होते**, तर वहन आणि प्रापण क्रिया हळूहळू होतात.

(३) **किरण विसर्जन क्रियेस माध्यमाची आवश्यकता नसते**; तर वहन आणि प्रापण क्रिया माध्यमावांचून होत नाहींत.

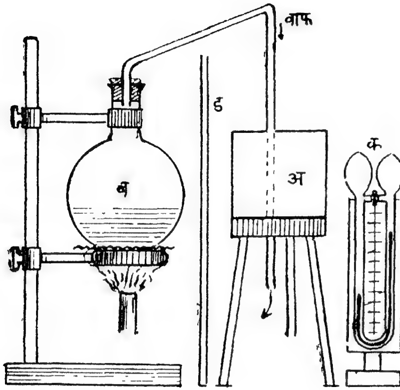
(४) **उष्णतेचीं किरणें ज्या माध्यमांतून पार जातात तें माध्यम तापत नाहीं पण ज्या माध्यमांत तीं शोषली जातात तें माध्यम तापतें.** वहन व प्रापण क्रिया ज्या माध्यमातून होतात तें नेहमींच तापते.

आग विझविणाऱ्या लोकांच्या टोप्या चकचकीत कां असतात? ज्या माध्यमांतून उष्णतेचीं किरणें जात नाहींत त्यांत तीं एक तर शोषलीं तरी जातात किंवा त्यांवरून परावर्तन तरी पावतात. ज्या पदार्थांवरून तीं किरणें परावर्तन पावतात, ते पदार्थ तीं किरणें परत पाठवीत असल्यानें

लवकर तापत नाहींत. म्हणून आग विझणविणाऱ्या लोकांच्या टोप्या चकचकीत असतात.

चांगले उष्णता विसर्जक पदार्थ चांगले उष्णता शोषक असतात.

प्रयोग ४३—' अ ' या चौकोनी डब्याच्या एका बाजूस काजळी व दुसरीस पाढरा कागद लावा. बाकीच्या दोन बाजू चांगल्या चकचकीत करा. ' ब ' या चंबूंत उत्पन्न होणारी वाफ ' अ ' डब्यांतून जाईल अशी योजना करा. ' अ ' डब्यापासून कांहीं अंतरावर ' क ' हे भेदोष्णमापक ठेवा. भेदोष्ण मापकास दिव्याची उष्णता मिळू नये म्हणून 'ड' हा अस्बेस्टॉसचा पडदा ठेवा. भेदोष्णमापकाकडे डब्याची प्रत्येक बाजू क्रमाक्रमानें येईल अशा रीतीनें डबा फिरवा. भेदोष्णमापकांतील द्रवाच्या दोन्ही शाखांतील पातळ्यांत सर्वांत जास्त फरक केव्हां असतो तें पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं डब्याची काळी बाजू भेदोष्णमापकाकडे असतां तो फरक सर्वांत जास्त असतो व डब्याची चकचकीत बाजू त्याचेकडे असतांना तो सर्वांत कमी असतो.



आकृति ४१

वरील प्रयोगावरून असें दिसेल कीं **काळे पदार्थ चकचकीत पदार्थांपेक्षां चांगले उष्णता विसर्जक** असतात.

प्रयोग ४४—भेदोष्ण मापकाचा एक फुगा काळा करा व दुसऱ्यास पांढरा चकचकीत रंग लावा. भेदोष्णमापक उन्हांत धरा, व त्यांतील द्रव कोणच्या फुग्याकडून कोणच्या फुग्याकडे जातो तें पाहा. तो काळ्या फुग्याकडून पांढऱ्या फुग्याकडे जातांना दिसेल.

वरील प्रयोगांवरून असें सिद्ध होतें कीं **काळे पदार्थ पांढऱ्या चकचकीत पदार्थांपेक्षां चांगले उष्णताशोषक असतात.**

सूर्यापासून दोन्हीं फुग्यांना सारखीच उष्णता मिळते. पण भेदोष्ण मापकांतील द्रव काळ्या फुग्याकडून पांढऱ्या फुग्याकडे जातो. म्हणजे तो पांढऱ्या फुग्यापेक्षां तेवढ्याच वेळांत अधिक तापत असला पाहिजे व म्हणून त्यांतील हवेचे प्रसरण पांढऱ्या फुग्यांतील हवेच्या प्रसरणापेक्षां अधिक होत असलें पाहिजे. काळ्या फुग्यांतील हवेचे अधिक प्रसरण होत असल्यानें द्रव काळ्या फुग्याकडून पांढऱ्या चकचकीत फुग्याकडे सरकतो.

मागील दोन्हीं प्रयोगांची अनुमानें एकत्र केल्यास आपणांस असें दिसेल कीं, **जे पदार्थ चांगले उष्णताविसर्जक असतात ते चांगले उष्णता-शोषक असतात.**

उष्ण किरणभेद्य व उष्ण किरणाभेद्य Diathermanous & A-thermanous.

प्रयोग ४३ मधील 'अ' डबा आणि 'क' भेदोष्ण मापक यांच्या मध्यें लाकूड, खरडा, धातूचा पत्रा, कांच व मीठ (rock salt) हे पदार्थ धरून आपणांस असें दाखवितां येईल कीं मिठा (rock salt) सारख्या पदार्थांतून उष्णतेची किरणें जाऊं शकतात व लांकूड, खरडा, कांच इत्यादि पदार्थांतून तीं जाऊं शकत नाहींत. ज्या पदार्थांतून तीं किरणें जाऊं शकतात त्यास '**उष्ण किरणभेद्य**' (diathermanous) व ज्या पदार्थांतून ती जाऊं शकत नाहींत त्यास '**उष्ण किरणाभेद्य**' (athermanous) असें म्हणतात. वरील विवेचनावरून कांच हा पदार्थ उष्ण-किरणाभेद्य आहे असें वाटते; पण खिडकीच्या तावदानांतून येणाऱ्या उन्हांत आपण बसलों तर आपणास उष्णता भासते या विरोधाभासाचें कारण पुढील प्रयोगावरून सहज लक्षांत येईल.

प्रयोग ४५—भेदोष्णमापकाच्या पुढें कांचेचा पडदा ठेवा व पडद्याच्या दुसऱ्या अंगास वाफेनें तापलेला १००° सें. उष्णमानाचा डबा, ८००° सें. उष्णमानाचा विद्युत्तापक (electric heater) व २३००° सें. उष्णमानाचा वायु पूरीत विद्युद्दीप क्रमाक्रमानें ठेवा व भेदोष्णमापकावर काय परिणाम होतो तो पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं कांचेची **उष्ण किरण भेद्यता**

ज्या पदार्थापासून उष्णतेची किरणें येत असतील त्या पदार्थाच्या उष्णमानावर अवलंबून असते; अथवा कमी उष्णमानाच्या पदार्थापासून निघालेलीं उष्ण किरणें कांचेतून जाऊं शकत नाहींत पण जास्त उष्णमानाच्या पदार्थापासून निघालेली उष्ण किरणें मात्र कांचेंतून जाऊं शकतात.

नाजूक झाडें वाढविण्याकरतां जीं कांचेचीं घरें तयार केलेलीं असतात त्यांत सूर्यासारख्या उच्च उष्णमानाच्या पदार्थापासून आलेलीं उष्णतेची किरणें शिरूं शकतात पण आंतील कमी उष्णमानाच्या पदार्थापासून निघालेलीं किरणें बाहेर जाऊं शकत नाहींत. म्हणून या घरांतील हवेचें उष्णमान बाहेरील हवेच्या उष्णमानापेक्षां कित्येक अंश अधिक असतें.

ढग आले असता उष्मा अधिक कां होतो ?

कांचेप्रमाणेंच ढग सूर्यापासून येणाऱ्या उष्णतेच्या किरणाना अडथळा करीत नाहींत; पण जमिनीसारख्या कमी उष्णमानाच्या पदार्थापासून निघणाऱ्या उष्ण किरणास अडथळा करतात. यामुळें ढग आले असतां आपणास अधिक उष्मा होतो.

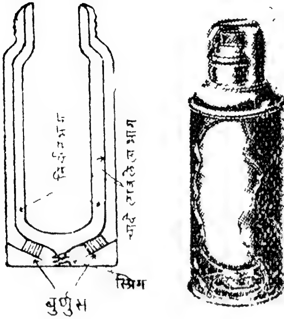
विसर्जन क्रिया पदार्थाच्या उष्णमानावर अवलंबून असते.

प्रयोग ४६—सारख्याच आकाराचे (Shape) व सारख्याच आकारमानाचे (Size) दोन डबे घ्या. त्याच्या तोंडांत घट्ट बसतील अशीं बुचें घ्या व त्या प्रत्येकांत एक एक उष्णमानमापक यंत्र बसवा. दोन्ही डबे वारा लागणार नाहीं अशा जागीं ठेवा. एकांत १०० ° सें. उष्णमानाचें व दुसऱ्यांत ४० ° सें. उष्णमानाचें पाणी भरा आणि बुचें घट्ट बसवा. दर मिनिटास त्यांतील पाण्याचें उष्णमान पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं ज्या डब्यांत १०० ° सें. उष्णमानाचें पाणी होतें त्यांतील पाणी दुसऱ्या डब्यांतील पाण्यापेक्षां लवकर निवतें.

यावरून उष्णतेचें विसर्जन पदार्थाच्या उष्णमानावर अवलंबून असतें असें दिसतें.

स्थिर उष्णमान रक्षक (thermos or Dewar's flask.)

आंत ठेवलेल्या पदार्थाचें उष्णमान कायम रहावें म्हणून या बाटलीचा उपयोग करतात. या बाटलींत एकांत एक अशा दोन बाटल्या असतात. बाटल्या एकात एक बसविण्यापूर्वी आंतील बाटलीचा बाहेरील भाग, व बाहेरील बाटलीचा आंतील भाग हे चांदी लावून आरशासारखे चकचकीत केलेलें असतात. या दोन्हीं बाटल्या-मधील जागा शक्य तितकी निर्वात करून तिच्यात पुन्हां हवा शिरणार नाहीं अशा रीतीनें बंद केलेली असते. निर्वातभागांतून वहनानें किंवा प्रापणानें उष्णता जाऊं शकत नाहीं कारण या दोन्ही क्रिया होण्यास माध्यमाची आवश्यकता असते. शिवाय काच ही मंदवाहक असल्यानें बाटलींतून उष्णता बाहेर जाण्यास अडथळा होतो. बाटलींतून उष्णता फक्त किरण विसर्जनाच्या पद्धतीनें जाऊं शकते. अशा रीतीनें जाणारी उष्णता आंतील बाटलीचा बाहेरील भाग व बाहेरील बाटलीचा आंतील भाग चकचकीत असल्यानें परावर्तन पांवते. या कारणांमुळें बाटलींतील पदार्थास बाहेरील उष्णता मिळत नाहीं किंवा बाटलींतून ती बाहेर जाऊं शकत नाहीं म्हणून पदार्थ ज्या उष्णमानाचा असेल त्याच उष्णमानाचा रहतो.





आकृति ४२

प्रश्न संग्रह ४ था

(१) उष्णतेच्या स्थलांतराचे निरनिराळे प्रकार सांगा व प्रत्येकाची दोन दोन उदाहरणें द्या.

(२) तांबें लोखंडापेक्षां चांगलें उष्णतावाहक आहे हें कसें सिद्ध कराल ?

(३) काचेचे भांडें तापविलें असता फुटते पण तेंच (१) सिलिकाचे किंवा (२) ताब्याचें केलें असल्यास फुटत नाहीं, याची कारणें काय ?

(४) डेव्हीचा संरक्षक दिवा कोणच्या तत्त्वावर केलेला आहे ? याची जाळी तापून लाल झाल्यावर त्याचा संरक्षक दिवा म्हणून उपयोग करतां येईल का ?

(५) दोन पदरी बारीक कापड तेवढयाच (दोन पदरा इतक्या) जाडीच्या एकेरी कापडापेक्षां अधिक ऊबदार कां असते ?

(६) (अ) लोकरीचें कापड तेवढयाच जाडीच्या सुती कापडापेक्षां अधिक ऊबदार का असते ? (ब) बर्फ नुसत्या लांकडी पेटीत न ठेवतां भुशात का ठेवतात ? (क) काचेचे भांडें तापवितांना त्याचे खालीं जाळी का ठेवतात ?

(७) द्रव पदार्थ (पारा खेरीज करून) उष्णतेचे मंदवाहक असतात हें सिद्ध करण्याकरता प्रयोग लिहा.

(८) प्रापण प्रवाह म्हणजे काय ? पाणी प्रापण प्रवाहामुळेंच तापते हें कसें दाखवाल ?

(९) खाणींतील लोकांना स्वच्छ हवा पुरविण्याकरतां पूर्वी काय योजना करीत असत ?

(१०) खोलीतींल माणसास वाऱ्याचा उपद्रव न होता स्वच्छ हवा हवी असल्यास काय योजना करावी लागेल ?

(११) किरण विसर्जन म्हणजे काय ? किरण विसर्जन होत असतां जीं उष्ण किरणें जातात तीं प्रकाश किरणांच्या गतीनें जातात व प्रकाश किरणांचे परावर्तनाचे व वक्रीभवनाचे नियम पाळतात हें कसें सिद्ध कराल ?

(१२) उत्तम शोषक पदार्थ उत्तम विसर्जक असतात हें कसे सिद्ध कराल ?

(१३) उष्णकिरणभेद्य व उष्णकिरणाभेद्य यात काय फरक आहे. झाडें वाढविण्याच्या काचेच्या खोल्यांतील उष्णमान बाहेरील हवेपेक्षां जास्त असते याचें कारण काय ?

(१४) स्थिर उष्णमान रक्षकाचे (Thermos flask) वर्णन लिहा व त्याचें कार्य समजावून सांगा.

(१५) भांडयात असलेल्या पाण्यास वरून उष्णता देऊन पाणी उकळवितां येईल का ? येत नसल्यास कां ?

(१६) रिकामा कागदी द्रोण निखाऱ्यावर ठेवल्यास तो तावडतोब जळतो, पण त्यांत पाणी भरून ठेवले असतां तो जळत नाहीं तें कां ?

(१७) पाण्याच्या भांडयांत उभ्या असलेल्या मेणबत्तीवर चिमणी ठेवल्यास काय होते. ती नीट जळत ठेवण्यास काय करणें अवश्य आहे ?

प्रकरण ५ वें.

स्थित्यंतर (Change of state)

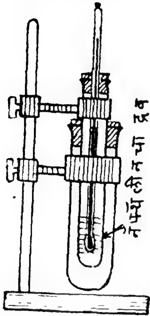
द्रवीभवन व घनीभवन (Liquefaction and solidification)

प्रयोग ४७—एका कांचेच्या पेल्यांत थोडेसें शुद्ध बर्फाचे तुकडे घ्या व त्यांचे उष्णमान पाहा. तें ०° सें. आहे असें दिसेल. पेला तिवईवर ठेवलेल्या जाळीवर ठेवा व मिनिट अर्धे मिनिट तापवा. बर्फ वितळल्यामुळें झालेलें पाणी व बाकी राहिलेलें बर्फ यांचें मिश्रण नीट ढवळा व त्याचें उष्णमान पाहा. याहि वेळीं तें ०° सें आहे असें दिसेल. मिश्रणास हळूहळू तापवा व दर मिनिटास त्याचे उष्णमान पाहा. बर्फ पूर्ण वितळेतों त्याचें उष्णमान ०° सें. राहते व नंतर तें वाढूं लागतें असें दिसेल.

यावरून असें दिसेल कीं बर्फाचें पाण्यांत रूपांतर होत असतां उष्णता देणे जरी चालू असले तरी बर्फ वितळेतों त्याच्या उष्णमानांत फरक होत नाहीं.

घन पदार्थांच्या कणांत परस्पर जितकें आकर्षण असतें त्यापेक्षां द्रव पदार्थांच्या कणांत तें कमी असते. घन स्थितींतून द्रव स्थितींत रूपांतर करण्याकरतां त्यांच्या कणांत परस्पर असलेलें आकर्षण कमी करावे लागतें. परस्परास आकर्षित असलेल्या कणांमधील आकर्षण कमी करण्यास अथवा ते कण एकमेकांपासून विलग करण्याकरतां थोडी तरी शक्ति खर्च केली पाहिजे. म्हणून घन पदार्थांच्या परस्परांस आकर्षण करीत असलेल्या कणांतील आकर्षण कमी करण्याकरतां अथवा त्याचें घन स्थितींतून द्रव स्थितींत रूपांतर करण्याकरता काहीं तरी शक्ति खर्च केली पाहिजे. ही शक्ति, पदार्थास देत असलेल्या उष्णतेच्या रूपानें खर्च होत असतें; म्हणून पदार्थाचे घन स्थितींतून द्रव स्थितींत स्थित्यंतर होत असतां पदार्थास देत असलेल्या उष्णतेमुळें त्याचे उष्णमान वाढत नाहीं.

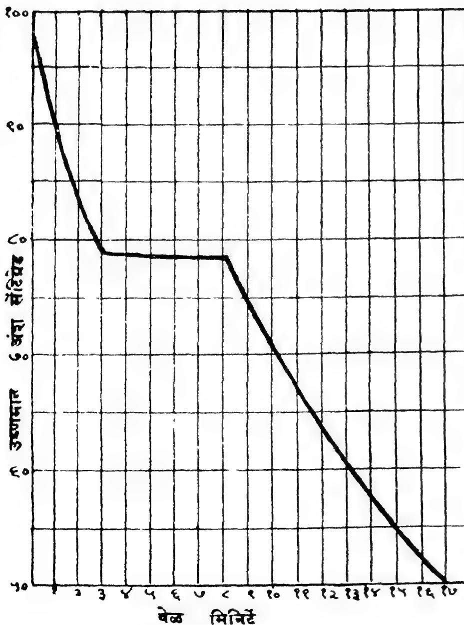
प्रयोग ४८–एका परीक्षण नळींत नॅफ्थॅलीनच्या गोळ्या घ्या. हीं नळी उकळत्या पाण्याच्या भांडयांत ठेवा म्हणजे नॅफ्थॅलीन वितळेल. या नळींत उष्णमान मापक ठेवून वितळलेल्या नॅफ्थॅलीनचे उष्णमान पाहा. ही नळी दुसऱ्या रुंद तोंडाच्या नळींत लोंबत ठेवून निवूं द्या. नॅफ्थॅलीनचे दर मिनिटास उष्णमान पाहा. तसेंच नॅफ्थॅलीनमध्यें होणाऱ्या फरकाचें नीट निरीक्षण करा.



आकृति ४३

वेळ व उष्णमान यांच्यामधील संबंध दाखविणारा आलेख काढा.

तुम्हांस असें आढळून येईल कीं नॅफ्थॅलीनचें उष्णमान ७९° सें. होईतों हळूहळू कमी होते व कांहीं वेळ स्थिर राहून पुन: कमी होऊं लागतें. तसेंच ७९° सें. उष्णमान होईतों तें द्रव स्थितींतच असतें, ७९° सें. उष्णमानावर तें गोठूं लागतें व सर्व द्रव घट्ट होईतों तें उष्णमान ७९° सें. राहतें.



आकृति ४४

यावरून असें दिसेल कीं द्रव पदार्थाचें घन स्थितींतून रूपांतर होतांना निववण्याचें (उष्णता काढून घेण्याचें) कार्य चालू असलें तरी सर्व द्रव घन स्थितींत जाईतों त्यांचे उष्णमानांत फरक होत नाहीं.

ज्याअर्थी हवेचें उष्णमानापेक्षां वितळलेल्या नॅफ्थॅलीनचें उष्णमान जास्त असतें त्याअर्थी त्या दोहोंचे उष्णमान सारखें होईतों नॅफ्थलीनमधून हवेमध्यें उष्णता जावयास पाहिजे म्हणजे तें सारखें निवलें पाहिजे; पण त्याचें उष्णमान ७९° सें. होतांच तें निवण्याचें थांबतें. यावरून त्यास कोठून तरी उष्णता मिळते. ही उष्णता त्यास बाहेरून कोठूनहि मिळत नसल्यानें ती बहुधा पदार्थ गोठत असतां त्यांतूनच निघत असली पाहिजे.

पदार्थाचें द्रव स्थितींतून घन स्थितींत रूपांतर करणें ही क्रिया, घन स्थितींतून द्रव स्थितींत रूपातर करण्याच्या क्रियेच्या विरुद्ध असल्यानें ही क्रिया होत असतां पदार्थांतून उष्णता उत्पन्न झाली पाहिजे. ती तशी उत्पन्न होते का तें आपण आता पाहूं.

प्रयोग ४९–एका काचेच्या भांडयांत थोडें पाणी घ्या. त्याचें उष्णमान –१२° सें. ते –१५° सें होईतों त्यांत बर्फ व कॅल्शियम क्लोराइडचे खडे टाका. एका नळींत थोडेंसे शुद्ध पाणी घेऊन त्यांत उष्णमानमापक ठेवा. ही नळी वरील मिश्रणात ठेवा. नळींस कोणत्याहि प्रकारचा धक्का लागूं देऊं नका. नळींतील पाण्याचें उष्णमान पाहा. नळींतील पाणी गोठलेलें नसून त्याचें उष्णमान –५° सें. किंवा –६° सें. पर्यंत कमी करतां येतें असें दिसेल. या नळींत बर्फाचा लहानसा खडा टाका अथवा नळींतील उष्णमान-मापक हालवा. आणि काय होतें तें पाहा. नळींत बर्फाचा खडा पडतांच अथवा नळींतील पाणी हालताच पाणी एकदम गोठतें व त्याचें उष्णमान ०° सें. पर्यंत वाढतें असें दिसेल.

यावरून पाण्याचें बर्फांत रूपांतर होतांना उष्णता उत्पन्न होतें असें सिद्ध होतें.

वरील दोन्ही प्रयोगांची अनुमानें एकत्र केल्यास असें दिसून येईल कीं नॅफ्थॅलीनचाहि द्रव गोठतांना त्यातून उष्णता उत्पन्न होत असली पाहिजे व म्हणूनच त्याचें उष्णमान ७९° सें होतांच म्हणजे तें गोठूं लागतांच तें निवण्याचें थांबतें.

अशा प्रकारें पदार्थांचें घन स्थितींतून द्रव स्थितींत अथवा द्रव स्थितींतून घन स्थितींत रूपांतर होतांना जी उष्णता खर्च होते अथवा उत्पन्न होते तिचा उष्णमानमापकावर कांहींच परिणाम होत नसल्यानें तिला **अनुद्भूत उष्णता** म्हणतात.

उष्णमानांत फरक न होऊं देतां एक ग्रॅम पदार्थ वितळण्यास अथवा त्याचे घन स्थितींतून द्रव स्थितींत रूपांतर करण्यास जी उष्णता लागते त्या उष्णतेस त्या पदार्थाची द्रवीभवनाची अनुद्भूत उष्णता (latent heat of fusion) असें म्हणतात.

बर्फाची अनुद्भूत उष्णता ठरविणें.

प्रयोग ५०–एका तांब्याच्या भांड्यांत टीपकागदानें कोरडे केलेले थोडेसें बर्फ घ्या. तें भांडें तिवईवर ठेवून त्यास स्पिरिटच्या दिव्यानें उष्णता द्या. बर्फ पूर्ण वितळण्यास किती वेळ लागतो तो पाहा. भांडे तापविणें चालू ठेवा व त्यातील पाणी सारखें ढवळा. पाण्याचें उष्णमान ०° सें. ते २०° सें. होण्यास किती वेळ लागतो तोहि पाहा. बर्फ वितळण्यास लागणारा वेळ या वेळेच्या चौपट आहे. अथवा

$$\frac{\text{बर्फ वितळण्यास लागणारा वेळ}}{\text{तेवढेंच पाणी } 0^\circ-20^\circ \text{ सें. पर्यंत तापविण्यास लागणारा वेळ}} = \frac{४}{१} \begin{cases} \text{जवळ} \\ \text{जवळ} \end{cases}$$

$$\text{म्हणून} \quad \frac{\text{१ ग्रॅम बर्फ वितळण्यास लागणारी उष्णता}}{\text{१ ग्रॅम पाणी } 0^\circ-20^\circ \text{ सें. पर्यंत तापविण्यास लागणारी उष्णता}} = \frac{४}{१}$$

∴ १ ग्रॅम बर्फ वितळण्यास लागणारी उष्णता=४×२० कॅलोरी(जवळजवळ)

∴ १ ग्रॅम बर्फाची अनुद्भुत उष्णता जवळजवळ ८० कॅलोरी असते.

या प्रयोगांत, भांड्यानें घेतलेली उष्णता, तशीच हवेपासून बर्फास व नंतर पाण्यास मिळत असलेली उष्णता याचा विचारहि करीत नाहीं; म्हणून या प्रयोगानें बर्फाच्या अनुद्भुत उष्णतेविषयीं केवळ अजमासच करतां येतो. ती बरोबर ठरविण्याकरितां पुढील प्रमाणें प्रयोग करतात.

प्रयोग ५१—रिकाम्या उष्णतामापकाचे ढवळणींसह वजन करा. तें $\frac{२}{३}$ भरेल इतकें गरम पाणी त्यांत घ्या व त्याचे पुनः वजन करा. पाण्याचें उष्णमान पाहा. टीप कागदानें कोरडा केलेल्या बर्फाचा एकएक तुकडा त्यांत टाका. प्रत्येक तुकडा पूर्ण वितळेतों पाणी ढवळणीनें ढवळा. पाण्याचें उष्णमान वातावरणाच्या उष्णमानापेक्षां ५–७ अंश कमी होईतों ही कृति करा. पाण्याचें उष्णमान बरोबर पाहा. उष्णता मापकाचें पुनः वजन करा.

निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

(१) रिकाम्या उष्णतामापकाचें वजन ......$व_1$ १२० ग्रॅम

(२) उ. मा. पात्र+गरम पाणी यांचे वजन ...$व_2$ ३४५ ,,

(३) गरम पाण्याचे वजन ... ...($व_2-व_1$) २२५ ,,

(४) उ. मा. पात्र+गरम पाणी+वितळलेलें बर्फ यांचे वजन $व_3$ ३८२·८

(५) बर्फाचें वजन ($व_3-व_2$) ३७·८ ग्रॅ.

(६) गरम पाण्याचें उष्णमान ... ... उ २९° सें.

(७) बर्फ टाकल्यानंतर मिश्रणाचें उष्णमान ऊ १४° सें.

(८) उष्णतामानांतील उतार (उ–ऊ) १५° सें.

(९) उ. मा. पात्राच्या धातूची विशिष्ट उष्णता य ०·१

समजा बर्फाची द्रवीभवनाची अनुद्भुत् उष्णता 'क्ष' कॅलोरी आहे.

$(व_3-व_2)$ ग्रॅम बर्फाचें पाण्यांत रूपांतर करण्यास लागणारी उष्णता $\} = (व_3-व_2)$ क्ष कॅलोरी

बर्फास $(व_3-व_2) \times$ क्ष कॅलोरी उष्णता दिल्यानें त्यापासून जें पाणी होईल त्याचे उष्णमान ०° सें. असेल. या पाण्याचें उष्णमान मिश्रणाच्या उष्णमानाइतकें करण्यास त्यास अधिक उष्णता द्यावी लागेल.

$(व_3-व_2)$ ग्रॅम पाणी ०°–ऊ° सें. पर्यंत तापविण्यास लागणारी उष्णता $\} = (व_3-व_2) \times$ ऊ कॅलोरी

∴ बर्फानें एकंदर घेतलेली उष्णता $\} = (व_3-व_2)$ क्ष $+ (व_3-व_2) \times$ ऊ कॅलोरी

गरम पाण्यानें (उ–ऊ)° सें. निवतानां दिलेली उष्णता $\} = (व_2-व_1)$ (उ–ऊ) कॅलोरी

उष्णता मा. पात्र (उ–ऊ)° सें. निवतांना दिलेली उष्णता $\} = व_1 \times$ य $\times$ (उ–ऊ) कॅलोरी

किरण विसर्जनाने उष्णतेचा व्यय झाला नाहीं असें मानल्यास

बर्फ वितळण्यास लागलेली उष्णता + त्यापासून झालेलें पाणी तापण्यास लागलेली उष्णता = ऊन पाण्याने + उ. मा. पात्रानें दिलेली उष्णता

$$\therefore \left.\begin{array}{c}(व_3 - व_2)\,क्ष \\ + \\ (व_3 - व_2)\,ऊ\end{array}\right\} = (व_2 - व_1)(उ - ऊ) + व_1 \times य \times (उ - ऊ) \text{ कॅलोरी}$$

$$\therefore (व_3 - व_2)\,क्ष = \left\{ (व_2 - व_1) + व_1\, य \right\} (उ - ऊ) - (व_3 - व_2)\,ऊ \text{ कॅलोरी}$$

$$\therefore \quad क्ष = \frac{\left\{ (व_2 - व_1) + व_1\, य \right\} (उ - ऊ) - (व_3 - व_2)\,ऊ}{(व_3 - व_2)}$$

$$\therefore \quad क्ष = \frac{१५\,(२२५ + १२० \times ०\cdot१) - ३७.८ \times १४}{३७\cdot८} \text{ कॅलोरी}$$

$$= \frac{३५५५ - ५२९\cdot२}{३७\cdot८} \text{ कॅलोरी}$$

$$= \frac{३०२५\cdot८}{३७\cdot८} \quad ,,$$

$$= ८०\cdot०४ \quad \text{कॅलोरी}$$

या प्रयोगांत पुढील गोष्टीविषयीं विशेष काळजी घेतली पाहिजे.

(१) बर्फ कोरडें करून घ्यावें. कारण बर्फास लागलेल्या पाण्यानें उष्णतामापक पात्रांत जाण्यापूर्वी अनुद्भूत उष्णता देऊन टाकलेली असेल.

(२) बर्फ टाकल्यामुळें पाण्याचें उष्णमान कमी कमी होतें व बर्फाचा खडा वितळण्यास लागणारा वेळ हळूहळू वाढतो. शेवटून घातलेल्या खड्यास तो सर्वांत जास्त लागतो. याकरितां पाणी चांगले गरम घेऊन हवेच्या उष्णमानापेक्षां मिश्रणाचें उष्णमान थोडेसें कमी होतांच प्रयोग थांबवावा म्हणजे सुरवातीस किरण विसर्जनामुळें भोंवतालच्या पदार्थास दिल्या जाणाऱ्या उष्णतेची भरपाई शेवटीं होईल.

(३) ऊन पाणी घ्यावें. कारण ऊन पाणी घेतल्यानें पुष्कळ बर्फ वितळवितां येईल व त्यामुळें एकंदर चूक कमी होईल.

स्फटिकमय पदार्थांचें द्रवीभवन ठराविक उष्णमानावर होतें.

प्रत्येक स्फटिकमय पदार्थ नॅफ्थॅलीनप्रमाणें एका ठराविक उष्णमाना-

वरच वितळतो किंवा गोठतो. निरनिराळ्या स्फटिकमय पदार्थांचें गोठ-ण्याचें किंवा वितळ्याचें उष्णमान निरनिराळे असते. राळ, मेण, कांच इत्यादि पदार्थ मात्र एका ठराविक उष्णमानावर वितळत नाहींत.

कांचेचा दांडा दिव्याचें ज्योतींत धरून तापविला तर स्फटिकमय पदार्थासारखा एकदम न वितळता हळूहळू नरम होतो व ज्योतीचे उष्णमान पुरेसें असल्यास त्याचा द्रव होतो असें दिसेल. कांचेच्या अंगीं हा गुण असल्यामुळें कांचेची निरनिराळ्या आकाराची भांडी तयार करतां येतात.

ढाळीव काम करण्यास कोणचे पदार्थ चांगले ?

बहुतेक स्फटिकमय पदार्थांचे थिजताना आकारमान कमी होते. पाणी, अँटिमनी, बिस्मथ, बीड हे पदार्थ मात्र या नियमास अपवाद आहेत. ज्या पदार्थांचें थिजतांना आकारमान वाढतें असेंच पदार्थ ढाळीव काम करण्यास खरोखर योग्य असतात. छापखान्यांतील खिळे ढाळण्याकरतां शिसें, ताबें व अँटिमनी यांच्यापासून तयार केलेल्या मिश्र धातूचा उपयोग करतात. या धातूचे आकारमान थिजतांना वाढत असल्यानें अक्षराच्या रूपरेषा अगदी रेखीव येतात.

पाणी गोठतांना आपल्या आकारमानाच्या १/११ नें वाढतें या गोष्टीचा निसर्गात बराच उपयोग आहे.

(१) इतर पदार्थांप्रमाणें पाण्याचें आकारमान कमीं झालें असतें तर बर्फाची घनता पाण्यापेक्षां जास्त होऊन थंडीच्या दिवसांत तें तयार होतांच बुडाशीं गेले असते व विहीरी आणि तळीं पूर्णपणें गोठलीं असती आणि बहुतेक सर्व जलचर प्राण्यांचा नाश झाला असता.

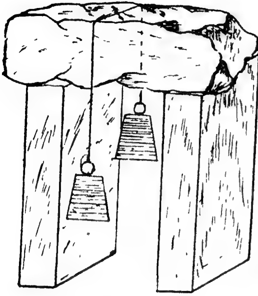
(२) खडकांची माती करण्याचें कामीहि पाण्याच्या याच गुण धर्माचा उपयोग होतो. खडकांच्या भेगांतून शिरलेलें पाणी जेव्हां गोठतें तेव्हां प्रस-रणामुळें खडक फुटतात.

ज्या पदार्थांचे आकारमान गोठतांना वाढते त्यांचा द्रवीभवन बिंदु दाब वाढविल्यास कमी होतो.

जेव्हां पाणी गोठतें तेव्हां त्याचे आकारमान वाढतें. त्याचे वरील दाब वाढवून त्याच्या आकारमानाच्या वाढीस अडथळा केल्यास त्याचे गोठ-ण्यासहि अडथळा व्हावयास पाहिजे आणि म्हणूनच दाब वाढविल्यास

त्याचे गोठण्याचे उष्णमानहि कमीं व्हावयास पाहिजे. याप्रमाणें पाण्यावरील दाब वाढविल्यास त्याचें गोठण्याचे उष्णमान कमी होतें का तें आतां पाहूं.

प्रयोग ५२–दोन लांकडी ठोकळ्यावर एक मोठा बर्फाचा खडा ठेवा. त्यावर एक बारीक तांब्याची तार ठेवा. तारेच्या दोन्ही टोंकास दोन ५।५ शेराची वजनें टांगा, व काय होते तें पाहा. ती तार बर्फास कापीत खालीं जाते असें दिसेल. कांहीं वेळानें पाहिल्यास बर्फाचा सबंध खडा कापून ती तार खालीं गेली आहे असें दिसेल. अशा रीतीनें तारेनें कापल्यामुळें बर्फाच्या खड्याचे दोन तुकडे झाले आहेत का पाहा. बर्फाच्या खड्याचे दोन तुकडे झालेले नसून तो पूर्वींप्रमाणें एकच खडा आहे असें आढळेल.



आकृति ४५

तार बारीक असल्यानें तिचे खालीं असलेल्या बर्फावरील दाब वाढतो, त्याचा द्रवीभवन बिंदु कमी होतो व तें वितळतें. यामुळें तार खालीं जाते व पाणी वर येते. या पाण्यावर पूर्ववत् वातावरणाचाच दाब असल्यानें व त्याचें उष्णमान ०° सें. असल्यानें ते पुनः गोठतें व तारेचे वर बर्फ पुनः जोडलें जातें. याप्रमाणें तारेचेखाली असलेलें बर्फ वितळतें, तार खालीं जाते व पाणी तारेवर येऊन पुन: गोठतें. याप्रमाणें सबंध ठोकळा कापला जाईतों चालू असतें. पाण्याचें बर्फ होतांना जी अनुद्भूत उष्णता उत्पन्न होते ती तार उष्णतावाहक असल्यानें तारेंतून जाऊन तिचेखालीं असलेल्या बर्फाचें पाणी करण्याचे कामीं येते.

तारेच्या ऐवजीं दोरी वापरल्यास ही क्रिया होणार नाहीं. कारण दोरी उष्णतारोधक आहे.

बर्फाचे खडे एकमेकांस कसे चिकटवितात.

(२) उन्हाळ्याच्या दिवसांत ‘पानीका बरफ, थंडा बरफ’ याप्रमाणें ओरडणारे लोक एका बांबूच्या काडीला बर्फाचा चुरा चिकटवून देतात हें

सर्वांना माहीत आहे. बर्फाचा चुरा काडीभोंवतीं दाबल्यानें बर्फाच्या तुक-ड्याचे पृष्ठभाग जेथें एकमेकांना लागतात तेथें दाब वाढतो व त्यांचें पाणी होतें; दाब कमी होतांच पाणी गोठते व ते तुकडे एकमेकांस चिक-टतात. अशा रीतीनें बर्फाच्या लहान लहान तुकड्यांचा एक गोळा तयार करतां येतो.

(३) बर्फावरून घसरत चालणें (Skating) हेंहि पाण्याच्या याच गुणधर्मावर अवलंबून असतें. बर्फावरून घसरणाऱ्या माणसाच्या वजनानें त्याच्या पायाखालीं असलेल्या बर्फाचें पाण्यांत रूपांतर होतें व तो घसरतो.

पदार्थ विरघळण्याचा द्रावणाच्या उष्णमानावर परिणाम.

प्रयोग ५३—एका कांचेच्या पेल्यांत थोडेसें थंड पाणी घ्या व त्याचे उष्णमान पाहा. त्यांत थोडें नवसागर घाला व नीट ढवळून नवसागराचें द्रावण तयार करा. त्याचे उष्णमान पाहा. तें नुसत्या पाण्यापेक्षां कमी आहे असें आढळेल. हाच प्रयोग, सोडा, अमोनियम नायट्रेट वगैरे पदार्थ घेऊन करा. प्रत्येक वेळीं द्रावणाचें उष्णमान पाण्याच्या उष्णमानापेक्षां कमी असतें असें आढळेल.

घन पदार्थ जेव्हां एखाद्या द्रवांत विरघळतो तेव्हां त्यांचे कण एकमेकांपासून वेगवेगळे केले जातात. हे कण परस्परांस आकर्षित असल्यामुळें त्यांना एकमेकांपासून वेगवेगळे करण्यास शक्तीची आवश्यकता असते. पदार्थाचें घन स्थितींतून द्रव स्थितींत रूपांतर करतांना त्याचे कण एकमेकांपासून याचप्रमाणें वेगवेगळे करावे लागतात व हें कार्य उष्णतेनें होतें. म्हणून वरील कार्यहि उष्णतेनें व्हावयास पाहिजे. ही उष्णता द्रवांतूनच पुरविली जात असल्यानें द्रावणाचें उष्णमान कमी होतें.

ज्या पाण्यांत क्षार विरघळलेले असतात त्याचें गोठण्याचें उष्णमान शुद्ध पाण्याच्या गोठण्याच्या उष्णमानापक्षां कमी असतें.

बर्फाच्या चुऱ्यावर थोडासा सोरा घातल्यास थोडासा सोरा बर्फावर असलेल्या पाण्यांत विरघळेल व त्याचें सपृक्त द्रावण तयार होईल. ०° सें. उष्णमानावर सोऱ्याचें द्रावण व बर्फ एकत्र आणल्यास बर्फ घनस्थितींत राहूं शकत नाहीं म्हणून तें वितळतें. या वितळलेल्या पाण्यांत अधिक सोरा विरघळतो व द्रावण संपृक्त होतें. या प्रमाणें बर्फ वितळण्यास लागणारी

अनुद्भूत उष्णता मिश्रणांतून घेतली जात असल्यानें तें (मिश्रण) थंड होतें.

गोठविण्याचीं मिश्रणें (Freezing mixtures),

(१) बर्फ व मीठ समभाग घेऊन मिसळलें असतां उष्णमान–२२ सें. होऊं शकतें. याच मिश्रणाचा (Ice-cream) तयार करण्याचें कामीं उपयोग करतात.

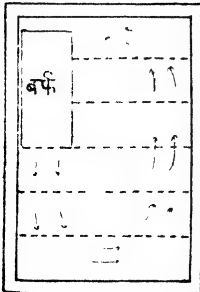
(२) कॅल्शियम क्लोराइड (स्फटिक) ४ भाग व बर्फ ३ भाग असें मिश्रण केल्यास मिश्रणाचें उष्णमान – ४५° सें. पर्यंत खालीं उतरविता येतें.

पाण्याच्या अनुद्भूत उष्णतेचे उपयोग.

(१) पाण्याची अनुद्भूत उष्णता दर ग्रॅमला ८० कॅलोरी इतकी जास्त असल्यानें अत्यंत कडक हिवाळ्यांत देखील नद्या व तळीं यांच्या पृष्ठभागाजवळचेंच पाणी फक्त गोठतें. बर्फाचे खालीं असलेलें पाणी गोठण्याकरतां ते गोठताना उत्पन्न होणारी उष्णता वाहून नेणें अवश्य असतें. बर्फ हें उष्णतेचें मंदवाहक असल्यानें त्यातून ही उष्णता लवकर जाऊं शकत नाहीं, व म्हणून पाणी फार खोलपर्यंत गोठत नाहीं.

हिमरक्षक Refrigerator

(२) ही एक पोकळ बाजू असलेली पेटी असते. या पेटीच्या बाजू पोकळ असल्यानें बाहेरील उष्णतेचा आंतील पदार्थांवर परिणाम होत नाहीं. या पेटीच्या वरच्या कप्प्यात एका बाजूस बर्फ ठेवतात. या कप्प्याच्या खालच्या बाजूस असलेली हवा थंड होते, तिची घनता वाढते व ती पेटीच्या बुडाकडे जाते आणि बुडाकडील हवा वर जाते. याप्रमाणें पेटींत एक प्रकारचा प्रापण प्रवाह सुरू होतो. बर्फ वितळण्यास लागणारी उष्णता पेटींतील पदार्थांतून काढली जात असल्यामुळें पदार्थ थंड राहतात.



आकृति ४६

प्रश्नसंग्रह ५ वा.

(१) बर्फाची अनुद्भूत उष्णता म्हणजे काय ? बर्फाची अनुद्भूत उष्णता पुष्कळ असल्यानें जलचर प्राण्यास अत्यंत कडक हिवाळ्यांतहि जिवंत राहण्यास मदत होते ती कशी ?

(२) बर्फाची अनुद्भूत उष्णता कशी ठरवाल? ती ठरवितांना तुम्ही कोणच्या गोष्टींची विशेष काळजी घ्याल ?

(३) एका बर्फाच्या खड्यांत एक मोठा खळगा करून तो स्पंजनें कोरडा केल्याबरोबर त्यांत ११० उष्णमानाचा व ५०० ग्रॅम वजनाचा तांब्याचा गोळा टाकला. त्यामुळें ७० ग्रॅम बर्फाचें पाणी झालें. तांब्याची वि. उ. ०·०९५ असेल तर बर्फाची अनुद्भूत उष्णता काय ?

(४) १२ ग्रॅम सममूल्य पाणी किंवा तुल्यजल असलेल्या उष्णता मापकांत असलेल्या २५ सें. उष्णमानाच्या २२५ ग्रॅम पाण्यांत ५० ग्रॅम बर्फ टाकल्यामुळें पाणी ८° सें. पर्यंत निवलें. तर बर्फाची अनुद्भूत उष्णता काय ?

(५) कांहीं पदार्थांचें आकारमान गोठतांना वाढते या गोष्टीचें व्यावहारिक महत्व काय ?

(६) बर्फाच्या खड्यांचे उष्णमान ०° सें पेक्षां पुष्कळच कमी असल्यास ते एकमेकांस चिकटवितां येत नाहींत, पण त्यांचें उष्णमान जवळ जवळ ० सें असेल तर ते चिकटवितां येतात तें कां ?

(७) ज्या पदार्थांचे गोठतांना आकारमान वाढतें त्यांच्या घनीभवन बिंदूवर दाबाचा काय परिणाम होतो ?

(८) आइस्क्रीम तयार करण्याच्या भांड्यांत मीठ व बर्फ यांचें समभाग मिश्रण कां वापरतात ?

(९) रेफ्रिजरेटर (Refrigerator) चें कार्य नीट समजाऊन सांगा.

(१०) पेयें थंड करण्याकरतां ० सें उष्णमानाच्या पाण्यापेक्षां ०° सें उष्णमानाचे बर्फ वापरणें चांगलें असतें तें कां ?

प्रकरण ६ वें.

स्थित्यंतर (चालू) Change of State.

बाष्पीभवन Evaporation आणि क्वथन (Boiling).

वाटींत थोंडें विहिरीचें पाणी घेऊन तें उघडें ठेवल्यास त्याची वाफ होऊन तें नाहींसें होतें, ही गोष्ट सर्वांच्या चांगली परिचयाची आहे. पाणी अशा रीतीनें नाहींसें होतांना वाटीचें निरीक्षण केल्यास वाटींत एकाखालीं एक अशीं वर्तुळें तयार होतांना दिसतात. हीं वर्तुळें पाण्यांत विरघळलेल्या पदार्थांमुळें तयार झालेलीं असतात. यावरून पाणी नाहींसें होण्याची क्रिया पाण्याच्या पृष्ठभागापासूनच होत असली पाहिजे. बरेचसे द्रव पदार्थ हवेंत उघडे ठेवल्यास तेहि पाण्याप्रमाणें नाहींसे होतात. अशा रीतीनें, पाण्याचें अथवा इतर द्रवांचें त्यांच्या पृष्ठ भागापासून वायुरूपांत जें रूपांतर होते त्यास **बाष्पीभवन** म्हणतात.

(१) प्रत्येक पदार्थ अणुमय आहे. (२) अणूंमधील आकर्षण परस्पर असतें आणि (३) हे अणू गतिमान असतात. या गोष्टी आतां सिद्ध झालेल्या आहेत. द्रवांतील अणूंपैकीं पृष्ठभागाजवळ असणारें, जास्त गतिमान अणू परस्परांमधील आकर्षणास न जुमानतां द्रवांतून बाहेर पडतात व वायुरूप होतात आणि वायुरूप स्थितींतील कांहीं अणू द्रवावर येऊन आपटतात व द्रवरूप होतात. याप्रमाणें बाष्पीभवन होत असतां अणूंची अदलाबदल होत असते. ज्यावेळीं द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या अणूंची संख्या तेवढयाच वेळांत द्रवांत शिरणाऱ्या अणूंच्या संख्येपेक्षां जास्त असते त्यावेळीं द्रव हळूहळू कमी होतो व **वाफ असंपृक्त** (Unsaturated vapour) असतें. पण ज्यावेळीं सारख्याच वेळांत द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या व द्रवांत शिरणाऱ्या अणूंची संख्या एकच असते त्यावेळीं द्रव कमी होत नाहीं व **वाफ संपृक्त** असते (Saturated vapour).

बाष्पीभवनाच्या क्रियेवर वाऱ्याचा परिणाम.

प्रयोग ५४---दोन स्लेट पाटया पाण्यांत बुडवून काढा व एकमेकींपासून कांहीं अंतरावर टांगून ठेवा. एका पाटीवर पंख्यानें वारा घाला व दुसरी

तशीच राहूं द्या. या दोन पाट्यापैकीं कोणची पाटी पहिल्यानें वाळतें तें पाहा. ज्या पाटीवर पंख्यानें वारा घातला असेल ती पाटी पहिल्यानें वाळते असें दिसेल.

वारा वाहात असल्यामुळें दर मिनिटास द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या अणूंची संख्या वाढत नाहीं, पण द्रवांतून बाहेर गेलेल्या अणूंना वाऱ्यानें दूर वाहून नेल्यामुळें दर मिनिटास द्रवात शिरणाऱ्या अणूंची संख्या मात्र कमी होते व त्यामुळें बाष्पीभवन जलद होतें. अथवा,

द्रवाचे पृष्ठभागाजवळ असलेली व आर्द्रतेनें सपृक्त झालेली हवा वाऱ्यानें दूर सारली जाते व तिच्या जागीं असंपृक्त हवा आणली जाते. नवीन आलेली हवा असंपृक्त असल्यानें तिच्यात अधिक आर्द्रता राहूं शकते म्हणून अधिक द्रवाचें बाष्पीभवन होते. याप्रमाणें वाऱ्यामुळें बाष्पीभवनाची क्रिया जलद होते.

(२) हवेच्या आर्द्रताविषयक स्थितीचा बाष्पीभवनावर परिणामः—

प्रयोग ५५—सारख्या सारख्या दोन काचेच्या भांड्यांत सुमारें १०।१० घ. सें. मी. इथर घ्या. हीं भांडीं एका बंद खोलींत ठेवा म्हणजे भांड्यांतील इथरला वारा लागणार नाहीं. यापैकीं एका भांड्यावर कांचेचें झांकण ठेवा. दोन्ही भांड्यांतील इथर उडून जाण्यास किती वेळ लागतो ते पाहा. झांकण असलेल्या भांड्यांतील इथरला उडून जाण्यास म्हणजे त्याची वाफ होऊन जाण्यास अधिक वेळ लागतो असें दिसेल.

झांकण असलेल्या भांड्यांतील हवेंत असलेल्या इथरच्या वाफेचें प्रमाण उघड्या भांड्यांतील हवेंत असणाऱ्या इथरच्या वाफेच्या प्रमाणापेक्षां जास्त असते; यामुळें झांकण असलेल्या भांड्यांतील द्रवांतून दर मिनिटांस जितके अणू बाहेर पडतात त्यांपैकीं बरेचसे दर मिनिटास द्रवांत परत येतात. म्हणून दर मिनिटास द्रवांतून अजीबात नाहींशा होणाऱ्या अणूंची संख्या फारच कमी होते, म्हणजे बाष्पीभवनाची क्रिया मंदावते. अथवा,

बंद झांकण असलेल्या भांड्यांतील इथरचे वर असणारी हवा जवळ जवळ संपृक्त असल्यानें तिच्यांत इथरची फारशी अधिक वाफ राहूं शकत नाहीं; परतु उघड्या भांड्यांतील इथरचेवर .असलेली हवा असंपृक्त

असल्यामुळें तिच्यांत इथरची पुष्कळच वाफ राहूं शकते म्हणून उघड्या भांड्यांतील इथरचें, झांकलेल्या भांड्यांतील इथरपेक्षां जलद बाष्पी-भवन होते.

पावसाळ्यांत कपडे लवकर वाळत नाहींत याचे हेंच कारण आहे.

उष्णमानाचा बाष्पीभवनावर परिणाम.

प्रयोग ५६—एकाच कापडाची, सारख्या आकाराची दोन फडकीं पाण्यात बुडवून काढा. त्यापैकीं एक उन्हांत व एक सावलींत याप्रमाणें टांगून ठेवा; व कोणचे लवकर वाळतें तें पाहा. उन्हांत टांगलेलें फडकें लवकर वाळतें असें दिसेल.

उष्णमान वाढविल्यानें अणूंची गति वाढते; त्यामुळें प्रतिक्षणीं द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या अणूंची संख्या वाढते, पण द्रवांत परत येणाऱ्या अणूंची संख्या मात्र वाढत नाहीं व म्हणूनच बाष्पीभवनाची क्रिया जलद होते. अथवा,

ज्याप्रमाणें द्रावणाचें उष्णमान वाढविल्यास तें संपृक्त करण्याकरतां त्यांत अधिक घन पदार्थ घालावा लागतो, त्याचप्रमाणें हवेचे उष्णमान वाढल्यास तिला संपृक्त करण्याकरतां अधिक आर्द्रतेची आवश्यकता असते. म्हणून उष्णमान वाढविल्यानें बाष्पीभवन जलद होतें.

पृष्ठभागाच्या विस्ताराचा बाष्पीभवनावर परिणाम.

प्रयोग ५७–कांचेचें मोठें तावदान टेबलावर ठेवून त्यावर ४ घ. सें. मी. पाणी ओता, व कांचेच्या दांड्यानें तें तावदानावर सगळीकडे पसरवा. त्याच टेबलावर, एका परीक्षण नळींत तेवढेंच पाणी ठेवा. तावदानावरील पाणी लवकर नाहींसें होतें किंवा नळींतलें पाणी लवकर नाहींसें होते तें पाहा. तावदानावरील पाणी लवकर नाहींसें होतें असें दिसेल.

बाष्पीभवन होण्याकरतां दर मिनिटास द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या अणूंची संख्या, दर मिनिटास द्रवांत परत येणाऱ्या अणूंच्या संख्येपेक्षां जास्त असली पाहिजे. या दोन संख्यांची वजाबाकी द्रवाच्या समान क्षेत्रफळाच्या पृष्ठभागाकरतां समान असतें. म्हणून जसजसा पृष्ठभागांचा विस्तार वाढत जाईल तसतसा द्रवांतून दर मिनिटास बाहेर पडणाऱ्या अणूंची संख्या व

दर मिनिटास त्यांत परत येणाऱ्या अणूंची संख्या यांतील फरक अधिकाधिक वाढत जाईल म्हणजे बाष्पीभवनाची क्रिया जलद होईल.

बाष्पीभवनाची क्रिया पदार्थांवर अवलंबून असते.

प्रयोग ८५—चार सारखीं कांचेची भांडीं घेऊन त्यापैकीं एकांत पाणी, दुसऱ्यांत स्पिरीट, तिसऱ्यांत रॉक ऑईल व चवथ्यांत इथर; याप्रमाणें प्रत्येक भांड्यांत ५।५ ग्रॅम द्रव घ्या. हीं सर्व भांडीं उघड्या हवेंत ठेवा व त्यांतील द्रव कोणच्या क्रमानें आटतात तें पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं पहिल्यानें इथर, नंतर स्पिरिट, त्याच्या मागून रॉक ऑईल व सर्वांच्या मागून पाणी आटतें.

यावरून बाष्पीभवनाची क्रिया जलद होणें किंवा सावकाश होणें हे द्रवावर अवलंबून असतें म्हणून

(१) **द्रव लवकर उडणारा असेल**
(२) **द्रवाचा उघडा पृष्ठभाग मोठा असेल**
(३) **द्रवावरील हवा असंपृक्त असेल**
(४) **वारा वाहात असेल**
(५) **द्रवाचें उष्णमान जास्त असेल** तर बाष्पीभवनाची क्रिया जलद होईल.

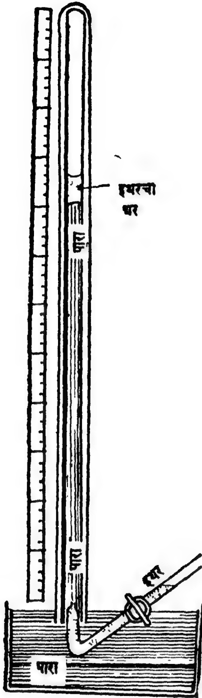
पाणी उघड्या हवेंत ठेवल्यास तें पूर्णपणें आटतें हें आपणांस माहित आहे. पण पाणी बंद भांड्यांत ठेवलें असतां त्याचें बाष्पीभवन कसें होतें याचा आतां आपण विचार करूं.

भांडें बंद असल्यामुळें प्रतिक्षणीं बाहेर पडणाऱ्या अणूंचीं संख्या जरी कमी झाली नाहीं तरी द्रवांत परत येणाऱ्या अणूंची संख्या प्रतिक्षणीं वाढते व कांहीं वेळानंतर प्रत्येक मिनिटास द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या व द्रवांत परत येणाऱ्या अणूंच्या संख्या समसमान होतात व वाफ संपृक्त होते. म्हणून बाष्पीभवन होण्याचें थांबतें.

संपृक्त वाफेचाही वायुप्रमाणें द्रवावर दाब पडतो.

प्रयोग ५९—एक साधें वायुभार मापक यंत्र तयार करा. नळीच्या मागें मि. मी. च्या खुणा असलेली पट्टी उभी धरा. नळींत पारा किती उंचीपर्यंत आहे तें पाहा. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एक वांकडी द्रव नलिका घेऊन

ती इथरनें भरा. वांकविलेला नळीचा भाग वायुभार मापकाच्या तोंडाखालीं ठेवा. आणि वायुभार मापकांत एक एक थेंब इथर सोडा. याप्रमाणें वायु भार मापकांतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर लहानसा इथरचा थर जमेतों इथर हळूहळू वायुभार मापकांत सोडा. वायुभार मापकांतील पाऱ्याच्या स्तंभाच्या उंचीवर, इथरचे थेंब आंत गेल्यावर काय परिणाम होतो तो पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं इथरचे थेंब टॉरिसिलीच्या निर्वात भागांत जातांच पारा हळूहळू खालीं घसरूं लागतो व ही क्रिया इथरचा लहानसा थर नळींतील पाऱ्यावर जमेतों चालू असते व नंतर बंद पडते. यावेळीं वायुभार मापकांतील पाऱ्याची उंची मोजा म्हणजे त्या प्रयोगाचें उष्णमानावर इथरच्या वाफेचा दाब किती असतो हें समजेल.



आकृति ४७

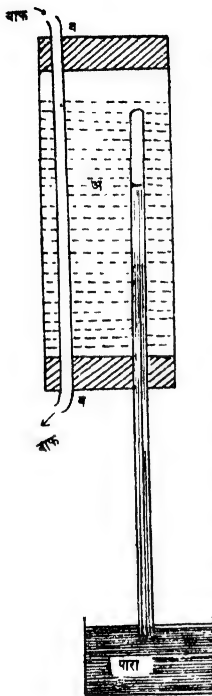
पारा खालीं घसरण्यास त्याच्या पृष्ठभागावर कशाचा तरी दाब असावयास पाहिजे. हा दाब इथरच्या वाफेशिवाय दुसऱ्या कशाचाहि असणें शक्य नाहीं.

यावरून द्रवाच्या संपृक्त वाफेचा वायुप्रमाणें द्रवाच्या पृष्ठभागावर दाब पडतों हें सिद्ध होतें.

वरील प्रयोगांत टॉरिसिलीचा निर्वात भाग इथरच्या वाफेनें पूर्ण संपृक्त झाला म्हणजे अधिक इथरची वाफ होत नाहीं व इथरचा थर पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर जमूं लागतो. यावेळीं इथरच्या वाफेचा जो दाब असेल [वायुभार मापकांतील पाऱ्याच्या स्तंभाची (पहिली उंची–दुसरी उंची)] त्यास त्या उष्णमानावरील इथरच्या वाफेचा **महत्तम दाब** (Maximum vapour pressure) अथवा त्या उष्णमानावरील **संपृक्त वाफेचा दाब** (Saturation vapour pressure) म्हणतात.

संपृक्त वाफेचा दाब उष्णमानाबरोबर वाढतो.

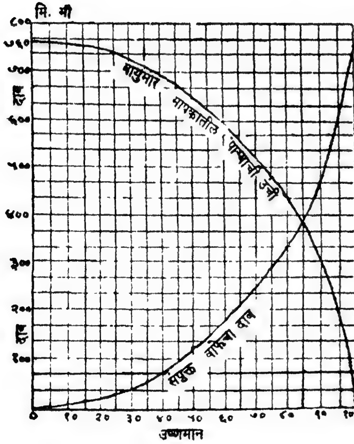
प्रयोग ६०—साधें वायुभारमापक यंत्र तयार करा व त्यांतील पाऱ्याची उंची मोजा. या वायुभार मापकाची नळी 'अ' या रुंद तोंडाच्या नळींत रबरी बुचाच्या साहाय्यानें बसवा. 'अ' नळींत दुसरीहि एक 'ब' नळी आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें बसवा. 'अ' नळींत पाणी भरा व त्याचें उष्णमान पाहा. वरील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें वायुभारमापकांतील पाऱ्यावर पाण्याचा थर जमेतों वायुभार मापकांत पाणी सोडा. वायुभार मापकांतील पाऱ्याची उंची मोजा. 'ब' नळींतून हळूहळू वाफ सोडा म्हणजे 'अ' नळींतील पाणी तापेल व त्यामुळें वायुभार मापकाची नळी तापेल. अशा रीतीनें पाणी तापत असतां त्याच्या उष्णमानात १०।१० अंशांचा फरक झाला म्हणजे पाण्याच्या संपृक्त वाफेचा दाब मोजा. निरिक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.



आकृति ४८

उष्णमान	वायुभार मापकांतील पाऱ्याची उंची	वायुभार मापकांत पाणी सोडल्यानंतर पाऱ्याची उंची	संपृक्त वाफेचा दाब
१५	७६ सें. मी.	७४·७२ सें. मी.	१·२८सें. मी.
२५	,,	७३·६२ सें. मी.	२·३८ ,,
३५	,,		
४५	,,		
५५	,,		

वरील निरीक्षणावरून असें दिसून येईल कीं उष्णमान जसजसें वाढतें तसतसा संपृक्त वाफेचा दाबहि वाढतो.



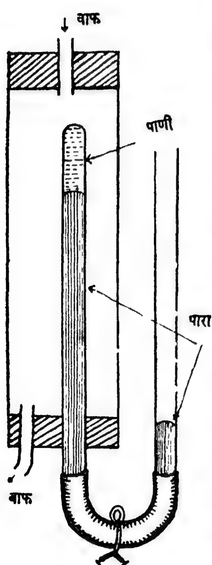
आकृति ४९

पाणी असलेलें भांडें जर हळूहळू तापविलें तर पृष्ठभागाजवळील पाण्याची पहिल्यानें वाफ होते व जसजसें उष्णमान वाढतें तसतशी बाष्पीभवनाची क्रियाहि अधिकाधिक जलद होते. पाणी तापलें म्हणजे त्यांत विरघळलेली हवा पहिल्यानें बुडबुड्याच्या रूपानें बाहेर पडते व नंतर सुमारें ८०° सें. उष्णमानावर भांड्याच्या बुडाशी वाफेचे बुडबुडे तयार होऊन वर जाऊं लागतात. बुडाजवळील पाण्याचें उष्णमान वरील पाण्याच्या उष्णमानापेक्षां जास्त असल्यानें बुडाजवळ उत्पन्न झालेल्या वाफेच्या बुडबुड्यांना त्यांचेपेक्षां कमी उष्णमानाच्या पाण्यांतून जावें लागते. यामुळें त्यांचेमधील वाफेचे पाण्यांत रूपांतर होते व ते फुटतात आणि 'सन्' असा आवाज उत्पन्न होतो. १००° सें. उष्णमान

होतांच वाफेचे बुडबुडे जसेच्या तसे द्रवांतून बाहेर पडतात व पाणी उकळूं लागतें व आवाज बंद होतो. ज्या अर्थी वाफेच्या बुडबुड्यावर वातावरणाचा दाब असूनहि ते जसेच्या तसें द्रवांतून बाहेर पडतात त्या अर्थी १०० सें. उष्णमानावर संपृक्त वाफेचा दाब वातावरणाच्या दाबाइतका असावयास पाहिजे.

क्वथन बिंदूच्या उष्णमानावर संपृक्त वाफेचा दाब वातावरणाच्या दाबा इतका असतो.

प्रयोग ६१—एक, एक तोंड बंद असलेली व एक दोन्हीं तोंडे उघडी असलेली अशा १०″ लांबीच्या दोन जाड नळ्या घ्या. त्या ७।८″ लांबीच्या जाड रबरी नळीनें जोडा. या जोड नळींत तोंडापासून साधारणपणें १″ जागा रिकामी राहीतों पारा भरा. नळीच्या उघड्या तोंडावर बोट घट्ट दाबून नळी पालथी करा म्हणजे रिकाम्या जागेंतील हवा वर जातांना नळींत असलेलें हवेचे बुडबुडे आपल्या बरोबर वर नेईल. नळी पुन: सरळ करा म्हणजे हवा पुन: तोंडाशीं येईल व नळींत हवा राहणार नाहीं. रिकाम्या भागांत आतां शुद्ध पाणी भरा व तिचें तोंड पूर्वीप्रमाणें बोटानें बंद करून नळी पालथी करा म्हणजे पाणी पाऱ्यापेक्षां हलकें असल्यामुळें बंद टोंकाकडे जाईल. बंद टोंक वर ठेवूनच बोटानें बंद केलेलें टोंक हळूहळू वर उचला. नळीस U चा आकार द्या व बोट नळीवरून काढून घ्या. रबरी नळीवर चाप बसवा. उघड्या नळींत, रबरी नळीच्या जोडाचे वर दिसेल इतका पारा नळींत ठेऊन



आकृति ५०

बाकीचा ओतून काढा. नळीचा आकार U सारखा ठेऊनच चाप सैल करा. एक रुंद तोंडाची व सुमारें १०″ लांबीची नळी घेऊन तिच्या

एका तोंडास एक छिद्राचे व दुसऱ्या तोंडास दोन छिद्रांचें याप्रमाणें बुचें बसवा. या नळींत, पारा व पाणी भरून तयार केलेली U आकाराची नळी आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें बसवा. रुंद नळींत वरून उकळत्या पाण्याची वाफ सोडा. आंतील नळी तापत असतां बंद नळींतील पाऱ्याच्या उंचीवर काय परिणाम होतो तो पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं,

(१) नळी जसजशी तापतें तसतसा बंद नळींतील पारा खालींखालीं घसरतो व उघड्या नळींत त्याची उंची वाढते.

(२) ज्या वेळीं नळीचें उष्णमान उकळत्या पाण्याच्या वाफेइतकें होते त्यावेळीं दोन्ही नळयांतील पाऱ्याची पातळी एकच होते.

यावरून पाण्याच्या क्वथन बिंदूच्या (Boiling point) उष्णमानावर संपृक्त वाफेचा दाब वातावरणाच्या दाबाइतका असतो हे सिद्ध होते.

क्वथन बिंदु (Boling Point) ज्या उष्णमानावर द्रवांच्या संपृक्त वाफेचा दाब वातावरणाच्या दाबाइतका असतो, त्या उष्णमानास **क्वथन बिंदु** (boiling point) म्हणतात.

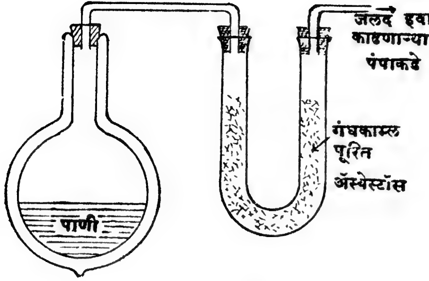
वरील प्रयोगावरून असेंहि दिसून येईल की द्रवाचा क्वथन बिंदु वाता वरणाच्या दाबावर अवलंबून असतो. म्हणून क्वथन बिंदु सांगतांना वातारवणाचा दाब सांगणें अवश्य असते.

वातावरणाचा दाब कमी असेल तर द्रवाचा संपृक्त वाफेचा दाब वातावरणाइतका करण्यास त्यास कमी उष्णमानापर्यंत तापवावें लागेल, म्हणजे तो कमी उष्णमानावर उकळूं लागेल अथवा त्याचा क्वथन बिंदु खालीं येईल. वातावरणाचा दाब जास्त असल्यास त्याच्या वाफेचा दाब तितका करण्यास त्यास अधिक तापवावें लागेल म्हणजे त्याचा क्वथन बिंदुहि वर जाईल.

दाब कमी केल्यास द्रव कमी उष्णमानावर उकळतो.

प्रयोग ६२–स्थिर उष्णमानरक्षकासारखी, पण जिचे पृष्ठभाग चकचकीत केलेले नाहींत अशी दुहेरी बाटली घ्या. तिच्यांत थोडे शुद्ध पाणी भरा व आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें उपकरणांचीं मांडणी करा. चंबू व 'यू' नळी यास घट्ट बसणारीं रबरी बुचें लावा. जोडां तून हवा आंत किंवा बाहेर

जाणार नाहीं अशी खबरदारी घ्या. पंपानें हवा काढण्यास सुरवात करा, व चंबूतील पाण्यांत काय काय बदल होतात ते पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं पाण्याच्या पृष्ठभागावरील दाब पुरेसा कमी होतांच पाणी एकदम उकळूं लागते व एकदोन मिनिटें उकळ-ल्यावर लागलीच गोठते.

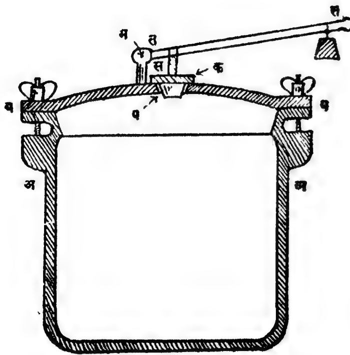


आकृति ५१

यावरून पाण्याच्या पृष्ठभागावरील दाब कमी केल्यास तें १००° सें. पेक्षां कमी उष्णमानावर उकळवितां येतें, म्हणजे त्याचा क्वथन बिंदु खालीं येतो असें दिसेल

उंच पर्वतावर अन्न कसें शिजवितात.

पेपिनचा पाचक [Papin's Digester] पाण्याच्या पृष्ठभागावरील दाब वाढविल्यास त्याचा क्वथन बिंदु वाढवितां येतो या गोष्टीचा उपयोग या यंत्राच्या रचनेंत केलेला असतो. उंच पर्वतावर वातावरणाचा दाब कमी असल्यानें पाणी १००° सें. पेक्षां पुष्कळच कमी उष्णमानावर उकळते व त्यामुळें डाळ तांदूळ इत्यादि पदार्थ तेथें नीट शिजत नाहींत. अशा ठिकाणीं ते पदार्थ नीट शिजवितां यावेत म्हणून हें यंत्र वापरतात. या यंत्रांत ' अ अ ' हें जाड बाज़ू असलेलें लोखंडी भांडें असतें. यावर मळसूत्रें व फिरक्या (bolts & nuts) यांच्या सहा-यानें घट्ट बसविता येईल असें ' ब ब ' हे झांकण असते. या झांकणास



आकृति ५२

'प' हें एक लहान छिद्र असून त्यावर 'क' हीं वर उघडणारी झडप असते. या झडपेचा दांडा 'म' भोंवतीं फिरणाऱ्या 'त त' या तरफेस टेकलेला असतो. 'त त' तरफेवर पुढें मागे सरकणाऱ्या वजनाच्या सहाय्यानें 'क' झडपेवरील व त्यामुळें भांड्यांतील, वाफेचा दाब नियंत्रित करतां येतो.

या भांड्यात प्रथम पाणी घालून कुकरमध्यें ज्याप्रमाणें निरनिराळे पदार्थ शिजण्यास ठेवतात, त्याप्रमाणें ठेऊन 'ब ब' झांकण घट्ट बसवितात व नंतर त्यास तापवितात. भांडें तापलें म्हणजे आंतील पाण्याची वाफ होऊं लागते व तिला बाहेर पडण्यास मार्ग नसल्यानें पाण्यावरील दाब वाढतो व त्यामुळे आंत उकळत असलेल्या पाण्याचें उष्णमानहि वाढते. दाब इच्छित दाबापेक्षां जास्त झाल्यास 'क' ही झडप उघडते व वाफ बाहेर जाते व दाब कमी होतांच ती बंद होते. अशा रीतीनें भांड्यांतील वाफेचा दाब आपोआप नियंत्रित होऊन भांडें फुटण्याचें वांचतें म्हणून असल्या झडपेस संरक्षक झडप Safety Valve) म्हणतात.

या यंत्राचा उपयोग मुख्यतः हाडांपासून सरस (glue) तयार करण्याकरतां करतात. हे यंत्र **पेपिनने** प्रथम उपयोगांत आणलें म्हणून याला **पेपिनचा पाचक** (Papin's digestor) म्हणतात.

वाफेची अनुद्भूत उष्णता.

चंबूत शुद्ध पाणी घेऊन जर तापविलें तर त्याचें उष्णमान हळूहळू वाढतें व तें उकळूं लागतें. तें उकळूं लागल्यावर मात्र त्यास कितीहि उष्णता दिली तरी त्याचें उष्णमान वाढत नाहीं.हीं उष्णता पाण्याचें वाफेंत रूपांतर करण्यांत खर्च होतें. हिलाच वाफेची अनुद्भूत उष्णता म्हणतात.

द्रवाचें उष्णमानांत बदल न होऊं देतां एक ग्रॅम द्रवाचें वायु रूपांत रुपांतर करण्यास जी उष्णता लागतें त्या उष्णतेंस द्रवाच्या वाफेंची अनुद्भूत उष्णता (Latent heat of vaporisation) **म्हणतात.**

पाण्याच्या वाफेची अनुद्भुत उष्णता ठरविणें.

प्रयोग ६३–एका तांब्याच्या भांड्यांत 0° सें. उष्णमानाचें कांहीं पाणी घ्या. त्यास स्पिरिटच्या दिव्यानें तापवा. पाणी उकळूं लागण्यास किती वेळ लागतो तो पाहा. समजा ४ मिनिटें. तसेंच सर्व पाण्याची वाफ होण्यास किती वेळ लागतो हेंहि पाहा. समजा २२ मिनिटें. प्रयोगांतील निरिक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

(१) पाण्यास उकळी फुटेपर्यंत तापविण्यास लागणारा वेळ } –क्ष मिनिटें

(२) उकळी फुटल्यावर सर्व पाण्याची वाफ होण्यास लागणारा वेळ } –य मिनिटें

या निरीक्षणांवरून तुम्हांस असें दिसेल कीं,

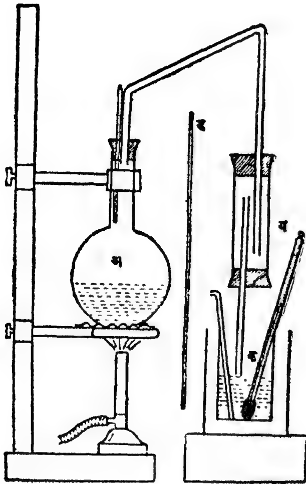
$$\frac{\text{पाण्याची पूर्णपणें वाफ होण्यास लागणारा वेळ}}{\text{पाण्यास उकळी फुटेपर्यंत तापविण्यास लागणारा वेळ}} = \frac{\text{य}}{\text{क्ष}} = \frac{२२}{४}$$

$$\therefore \frac{\text{पाण्याची वाफ होण्यास लागणारी उष्णता}}{\text{तेवढ्याच पाण्यास उकळी फुटेपर्यंत लागणारी उष्णता}} = \frac{५.५}{१}$$

∴ १ ग्रॅम पाणी 0°–१००°सें पर्यंत तापविण्यास जी उष्णता लागते तिच्या ५॥ पट उष्णता उकळत असलेल्या पाण्याची वाफ होण्यास लागते. म्हणून वाफेची अनुद्भूत उष्णता ५५० कॅलोरी.

याप्रमाणें अनुद्भूत उष्णता ठरवितांना भांडें उष्णता शोषून घेत असल्यानें व विसर्जनानें हवेंत उष्णता जात असल्यानें ती बरोबर समजणार नाहीं, तरी पण वाफेच्या अनुद्भूत उष्णतेविषयीं कल्पना करण्याच्या दृष्टीनें हा प्रयोग फारच उपयोगी आहे.

प्रयोग ६४ रीत २ री—एका उष्णता मापक पात्राचें वजन करा. तें $\frac{3}{4}$ भरेल इतकें थंड पाणी त्यांत घ्या व त्याचे पुनः वजन करा. पाण्याचे उष्णमान पाहा. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें उपकरणांची मांडणी करा.



'अ' चंबूतील पाणी तापवा, म्हणजे पाण्याची वाफ होऊन ती 'ब' नळींत येईल. नळींत येतांना हवेंतील थंडीमुळें झालेलें वाफेचें पाणी 'ब' नळीच्या खालच्या बुचावर सांचेल व कोरडी वाफ दुसऱ्या नळींतून 'क' या उष्णता-मापक-पात्रात येईल. दिव्याच्या उष्णतेमुळें उष्णता मापक-पात्राचें उष्णमान वाढूं नये म्हणून दिवा व उष्णता-मापक-पात्र याच्या-मध्यें 'ड' हा ॲस्बेस्टॉसचा पडदा ठेवा.

आकृति ५३

निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

(१) रिकाम्या उष्णतामापकपात्राचें वजन ...व$_{१}$... ४०ग्रम.
(२) उ. मा. पात्र + थंड पाणी याचें वजन...व$_{२}$... २०६ग्रॅम.
(३) उ. मा. पात्र+थंड पाणी+वाफ यांचे वजन व$_{३}$...२११·९ ,,
(४) थंड पाण्याचें वजन... ... (व$_{२}$–व$_{१}$) ... १६६ ,,
(५) वाफेचें वजन... ... (व$_{३}$–व$_{२}$) ... ५·९ ,,
(६) वाफेचें उष्णमान... ... ...१००$^{\circ}$ सें.
(७) थंड पाण्याचें उष्णमान... उ ... ९$^{\circ}$,,
(८) मिश्रणाचें उष्णमान... ... ऊ ... ३०$^{\circ}$,,
(९) उ. मा. पात्राच्या धातूची वि. उ.... य कॅ. ... ०·१ कॅ.

समजा वाफेची अनुद्भूत उष्णता... क्ष कॅलोरी आहे.

विमर्जनामुळें उष्णता फुकट जात नाही असें मानल्यास,

वाफेनें दिलेली उष्णता = थंड पाण्यानें+उ. मा. पात्रानें घेतलेली उष्णता.

∴ वाफेचें त्याच उष्णमानाचें पाणी होतांना तिने दिलेली उष्णता + वाफेचें १००° सें. उष्णमानाचें पाणी मिश्रणाच्या उष्णमानापर्यंत निवताना दिलली उष्णता. = थंड पाणी मिश्रणाचे उष्णमानापर्यंत तापविण्यास लागणारी उष्णता + उ. मा. पात्र मिश्रणाचे उष्णमानापर्यंत तापविण्यास लागणारी उष्णता.

$$\therefore \left.\begin{array}{c}(\text{व}_3-\text{व}_2)\,\text{क्ष}\\ +\\ (\text{व}_3-\text{व}_2)(१००-\text{ऊ})\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c}(\text{व}_2-\text{व}_1)(\text{ऊ}-\text{उ})\\ +\\ \text{व}_1\times\text{य}\times(\text{ऊ}-\text{उ})\end{array}\right.$$

$$\therefore \text{क्ष} = \frac{(\text{ऊ}-\text{उ})\left\{(\text{व}_2-\text{व}_1)+\text{व}_1\times\text{य}\right\}-(\text{व}_3-\text{व}_2)\times(१००-\text{ऊ})}{\text{व}_3-\text{व}_2}$$

$$\therefore \text{क्ष} = \frac{(\text{ऊ}-\text{उ})\left\{(\text{व}_2-\text{व}_1)+\text{व}_1\text{य}\right\}-(\text{व}_3-\text{व}_2)(१००-\text{ऊ})}{\text{व}_3-\text{व}_2}$$

$$\text{अथवा क्ष} = \frac{२१(१६६+४)-५.९\times७०}{५.९}$$

$$= \frac{३५७०-४७०}{५.९}$$

$$= \frac{३१५७}{५.९}$$

$$= ५३५ \text{ कॅलोरी.}$$

∴ वाफेची अनुद्भूत उष्णता = ५३५ कॅलोरी आहे.

वाफेचें द्रवांत रूपांतर होताना ५३५ कॅलोरी उष्णता बाहेर पडते व त्यामुळें उकळतें पाणी हातावर पडल्यामुळें जितका हात भाजतो त्यापेक्षां वाफ हातावर आल्यास तो अधिक भाजतो.

दाबाचा हवेच्या उष्णमानावर काय परिणाम होतो ?

प्रयोग ६५—सायकलच्या पंपाचें खालचें तोंड बंद करून त्याच्या बुडाशीं इथर किंवा कार्बन डाय सल्फाइडनें भिजविलेला थोडासा कापूस अथवा जर्मन टिंडरचा लहान तुकडा ठेवा. दट्ट्या एकदम खालीं दाबून लागलीच काढून घ्या व पंपातील कापूस पेटला आहे का पाहा. तो पेटला आहे असें दिसेल. यावरून हवेवरील दाब वाढवून तिचें आकारमान एकदम कमी केल्यास तिचें उष्णमान वाढतें, हें सहज दिसेल. वायूंच्या कणांत एकमेकांपासून दूर जाण्याची प्रवृत्ति असते; म्हणून त्या कणांना एकत्र आणून वायूचें आकारमान कमी करण्याकरितां शक्ति खर्च करावी लागते. ही शक्ति उष्णतेच्या रूपानें प्रगट होते.

प्रयोग ६६—खोलीतील हवेचें पहिल्यानें उष्णमान पाहा. नंतर फूटबॉलमध्यें दाबून हवा भरा. फूटबॉलच्या नळीसमोर उष्णमानमापक धरा व नळीचें तोंड एकदम खुलें करा. या हवेचें उष्णमान खोलींतील हवेच्या उष्णमानापेक्षा जास्त आहे किंवा कमी आहे तें पाहा. तें कमी आहे असें आढळेल.

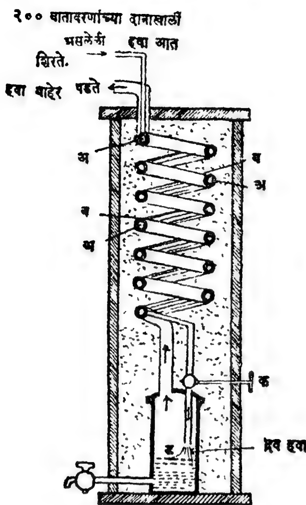
यावरून हवेवरील दाब कमी करून तिचें आकारमान एकदम वाढविलें तर तिचें उष्णमान कमी होतें असें तुमच्या नजरेस येईल. वायूवरील दाब एकदम कमी केला म्हणजे तो प्रसरण पावतो. अशा रीतीनें प्रसरण पावतांना त्या जागीं पूर्वी असलेला वायु त्यास बाजूस सारावा लागतो व हें कार्य करण्यात त्याची शक्ति खर्च होत असल्यानें तो थंड होतो.

याच तत्त्वाचा हवेचा द्रव तयार करण्याच्या यंत्रात उपयोग केलेला असतो.

हवा द्रव स्थितींत कशी आणतात.

द्रव हवा तयार करण्याकरिता जें यंत्र उपयोगांत आणतात तें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें असतें. यांत ‘ अ ’ आणि ‘ ब ’ या एकांत एक अशा एकमध्य (Concentric) असलेल्या दोन नळया असतात. यांची लांबी १५० मीटरपेक्षां देखील जास्त असते. या नळयांचे एक वेटोळें केलेलें असून तें लोंकर किंवा पिसें अशा उष्णता रोधक पदार्थांनीं वेष्टिलेलें असतें. पंपाच्या सहाय्यानें सुमारें २०० वातावरणाच्या दाबाखालीं असलेली शुद्ध

हवा [आर्द्रता, कर्बवायु व इतर सेंद्रिय पदार्थ (Organic matter) नाहींत अशी] 'अ' या नळींतून आंत सोडतात. ही हवा नळीच्या टोंकाशीं असलेला 'क' हा कॉक (Cock) किंचित् सैल करून 'ड' या भाड्यांत सोडतात. या ठिकाणीं हवेवरील दाब एकदम कमी होत असल्यानें तिचें आकारमान एकदम वाढतें व ती थंड होते. या हवेस 'ब' नळीशिवाय भाड्यातून बाहेर पडण्यास दुसरा मार्ग नसल्यानें ती त्या नळीनें बाहेर जाते. हीच हवा नंतर पंपाकडे नेतात. 'ब' मधून बाहेर जाणारी हवा थंड असून 'अ' भोंवतालून जात असल्यानें 'अ' नळींतील हवा थंड होते. अशा रीतीनें थंड झालेली, व २०० वातावरणाच्या दाबाखालीं असलेली हवा



आकृति ५४

जेव्हां पुन: 'ड' भाड्यांत शिरते तेव्हा ती अधिक थंड होते. याप्रमाणें ही क्रिया कांहीं वेळ सारखी चालू ठेवल्यास 'अ' मधील हवा अधिकाधिक थंड होऊन शेवटीं द्रव स्थितींत जाते. ही द्रव हवा स्थिर उष्णमानरक्षकामध्यें (Thermos flask) ठेवून एका गावाहून दुसऱ्या गांवीं देखील पाठविता येते. अलीकडे ऑक्सिजन व नैट्रोजन हे वायु मोठ्या प्रमाणांत तयार करावयाचे झाल्यास ते या द्रव हवेपासूनच तयार करतात. द्रव नैट्रोजनचा क्वथन बिंदु, ऑक्सिजनच्या क्वथन बिंदूपेक्षां कमी असल्यानें द्रव हवेचें भागश: ऊर्ध्वपातन (Fractional distillation) करून हे वायू वेगळे करतात.

बाष्पीभवनामुळें द्रवाचें उष्णमान कमी होतें.

प्रयोग ६७—एका परीक्षण नळींत थोडेसें इथर घ्या. नळींत उष्णमानमापक ठेऊन इथरचें उष्णमान पाहा. दुसरी एक नळी घेऊन तिनें इथरमध्यें

फुंका म्हणजे हवेचे बुडबुडे त्यांतून निघतील. हवेचे बुडबुडे त्यांतून (इथरमधून) निघत असतां त्याचें उष्णमान पाहा. तें पूर्वीपेक्षां बरच कमी झालें आहे असें दिसेल.

यावरून बाष्पीभवनामुळें द्रवाचें उष्णमान कमी होतें हें सिद्ध होतें.

बाष्पीभवन होतांना दर मिनिटास द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या अणूंची संख्या तेवढयाच वेळांत द्रवांत परत येणाऱ्या अणूंच्या संख्येपेक्षां जास्त असते. द्रवातून बाहेर पडणारे अणू इतर अणूपेक्षां अधिक जोमदार असल्यामुळें ते द्रवांतून गेल्यानें द्रवात राहिलेल्या अणूंची सर्वसाधारण शक्ति (average energy) कमी होते म्हणून द्रव थंड होतो. अथवा,

पाण्याचें वाफेंत रूपांतर करण्यास अनुद्भूत उष्णता लागते. ही उष्णता द्रवांतून किंवा द्रवास लागून असलेल्या आजूबाजूच्या पदार्थांतून काढून घेतली जात असल्यामुळें, द्रव व त्याच्या आजूबाजूचे (त्यास लागून असलेले) पदार्थ थंड होतात.

१ सुरईमध्यें ठेवलेलें पाणी थंड कां होतें ?

सुरईच्या छिद्रांतून बाहेर आलेल्या पाण्याचें बाष्पीभवन करण्यास लागणारी उष्णता सुरईतील पाण्यांतूनच काढली जात असल्यामुळें सुरईतील पाणी थंड होतें.

हातावर स्पिरिट ओतलें असतां गार कां वाटतें ?

स्पिरिटचें वायुरूपांत रूपातर करण्यास लागणारी अनुद्भूत उष्णता आपल्या हातांतून काढली जाते म्हणून आपणास गार वाटतें.

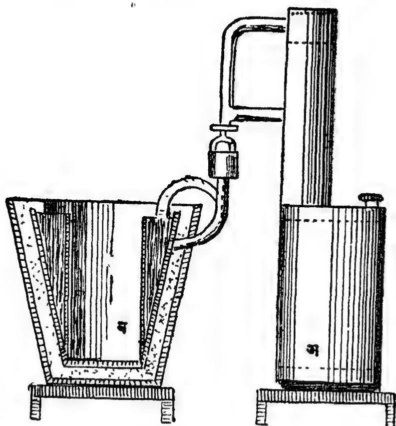
बाष्पीभवन व क्वथन यांतील फरक.

बाष्पीभवनाच्या क्रियेंत द्रवाचें वायुरूपांत रूपांतर फक्त पृष्ठ भागापासूनच होतें व तें वाटेल त्या उष्णमानावर होतें. क्वथन क्रियेंत द्रवाचें वायुरूपांत रूपांतर सर्व द्रवांतून होतें व तें एका ठराविक उष्णमानावर होतें.

बाष्पीभवनाच्या अनुद्भूत उष्णतेचे व्यावहारिक उपयोग.

(१) **बर्फ तयार करणें**—उष्णतेच्या सहाय्यानें बर्फ तयार करण्याचें यंत्र आकृतींत दाखविल्याप्रमाणे असतें. यांत 'अ' हें मजबूत लोखंडी वक्र पात्र (retort), जाड आणि पोकळ बाजू असलेल्या 'ब' या ग्राहकास आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें नळाने जोडलेलें असतें. 'अ' पात्रांत

शून्य अंश सें. उष्णमानाचें अमोनियाचें संपृक्त द्रावण भरून सबंध उपकरण वाताभेद्य करतात. गोठवावयाचें पाणी अथवा पदार्थ 'ब' या ग्राहकामध्यें भरून तो ग्राहक हें पात्र पाण्याच्या बालडींत ठेवतात व नंतर 'अ' तापवितात. 'अ' मधील द्रावण तापल्यामुळें त्यांतून अमोनिया वायु निघू लागतो व तो 'ब' मध्यें सांठतो. याप्रमाणें 'अ' मधून 'ब' मध्यें अमोनिया सारखा येत असल्याने त्याचा दाब हळू हळू वाढतो व तो



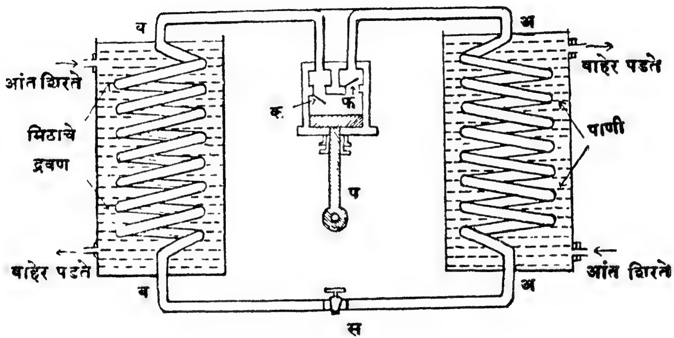
आकृति ५५

सुमारें १० वातावरणाइतका झाला म्हणजे 'ब' या ग्राहकाच्या पोकळींत त्याचा द्रव तयार होतो. हा द्रव तयार होतांना जी अनुद्भूत उष्णता उत्पन्न होते ती सर्व बालडींतील पाण्यांत शोषिली जाते. 'अ' पात्रातील द्रावण तापवून त्यांतील बहुतेक सर्व अमोनिया निघून गेला म्हणजे तापविणें बंद करतात व तें पात्र थंड पाण्यांत ठेवतात. 'ब' भांडें बालडींतून काढून लोंकरीच्या कापडांत गुडाळून ठेवतात. 'अ' मधील पाणी थंड झाल्यामुळें त्यांत अमोनिया शोषिला जातो व त्यामुळें 'ब' मध्यें असलेल्या द्रव अमोनियाचें बाष्पीभवन होऊं लागतें. बाष्पीभवनास लागणारी उष्णता 'ब' मध्यें असलेल्या पदार्थांतून शोषिली जाते व तो थंड होऊन शेवटीं गोठतो.

(२) पदार्थ थंड ठेवणें—Refrigerators.

जहाजावर व घरीं अंडीं, फळें इत्यादि पदार्थ नासूं नयेत म्हणून अगदीं थंड पेटींत अथवा खोलींत ठेवतात. ही पेटी अथवा खोली थंड ठेवण्याकरतां ज्या यंत्राचा उपयोग करतात त्यांत द्रव अमोनियाचें जलद बाष्पीभवन करून थंडी उत्पन्न करतात.

आकृतींत या प्रकारचें एक यंत्र दाखविलें आहे. 'प' या पंपानें अमोनिया वायु 'फ' झडपाच्याद्वारें आंत ढकलून 'अ' या वेटोळयांत दाबतात. त्यामुळें त्याचा द्रव तयार होतो. हा द्रव तयार होतांना उत्पन्न होणारी अनुद्भूत उष्णता त्याचेभोंवतीं खेळत असलेलें पाणी काढून घेते. हा द्रव अमोनिया 'स' या नियंत्रक झडपांतून (Regulating valve) 'ब' या वेटोळयांत हळूहळू शिरतो. 'ब'मध्यें उत्पन्न होणारा वायु 'प' या पंपाने 'क' झडपाच्याद्वारें



आकृति ५६

काढून घेऊन त्या वेटोळयांतील दाब नेहमीं कमी ठेवतात. (सुमारं ३४ पौंड). दाब कमी असल्यानें द्रव अमोनियाचें बाष्पीभवन होतें व त्यास लागणारी अनुद्भूत उष्णता मिठाचे द्रावणांतून घेतली जाते. मिठाचें द्रावण अशा रीतीनें थंड होऊन त्याचें उष्णमान जवळजवळ – १५सें°. होतें. हें द्रावण ज्या खोल्यांतून अंडीं फळें इत्यादि पदार्थ ठेवलेले असतात त्यांचे भोंवतीं फिरतें ठेवल्यानें त्या खोल्या थंड राहतात व त्यामुळें त्यांत ठेविलेले पदार्थ नासत नाहींत. 'ब' वेटोळयाभोंवतीं असलेल्या मिठाचे द्रावणांत पाण्यानें भरलेले डबे ठेवून बर्फहि या यंत्रानें तयार करितां येतें.

प्रश्नसंग्रह ६ वा.

(१) संपृक्त व असंपृक्त वाफ, बाष्पीभवन आणि क्वथन यांचे- मधील भेद नीट समजाऊन सांगा.

(२) पुढील गोष्टींचा बाष्पीभवनावर काय परिणाम होतो ?

(अ) वाऱ्याचा, (ब) उष्णमान वाढविण्याचा (क) पृष्ठभागाच्या विस्ताराचा, (ड) हवेच्या आर्द्रता विषयक स्थितीचा.

(३) संपृक्त वाफेचा दाब म्हणजे काय? तो उष्णमानाबरोबर वाढतो हें कसें दाखवाल?

(४) क्वथन बिंदूच्या उष्णमानावर संपृक्त वाफेचा दाब वातावरणाच्या दाबाइतका असतो हें कसें सिद्ध कराल?

(५) वाफेची अनुद्भूत उष्णता म्हणजे काय ? ती तुम्ही कशी ठरवाल ? प्रयोग करतांना कोणत्या गोष्टींची विशेष काळजी घ्याल ?

(६) २५० ग्रॅम वजनाच्या ताब्याच्या भांड्यात (वि. उ. ०.०९) बर्फ व पाणी यांचें १५६ ग्रॅम मिश्रण आहे. यांत १० ग्रॅम वाफ सोडल्यामुळें मिश्रणाचें उष्णमान २०° सें. होतें. वाफेची अनुद्भूत उष्णता ५३६ कॅ.व बर्फाची अनुद्भूत उष्णता ८० कॅ. असेल तर भांड्यांत किती बर्फ होतें ?

(७) २५ ग्रॅम वजनाच्या उष्णतामापकांत (वि. उ. ०.१) १० सें. उष्णमानाचे १२० ग्रॅम पाणी आहे. ५ ग्रम वाफ सोडल्यावर त्याचें उष्णमान ३४.५° सें. होतें; तर वाफेची अनुद्भूत उष्णता काय ?

(८) बाष्पीभवन होतांना पाणी थंड होतें याचें कारण काय ?

(९) दाब कमी केल्यास पाणी कमी उष्णमानावर देखील उकळवितां येतें हें कसें दाखवाल ?

(१०) कारणें द्या.

(अ) उंच पर्वतावर चहा चांगला होत नाहीं.

(ब) सुरईत पाणी लवकर थंड होतें.

(११) बाष्पीभवन व क्वथन यांची तुलना करा.

(१२) बाष्पीभवन जलद होणे कोणत्या गोष्टींवर अवलंबून असतें ?

(१३) जहाजांतून लांबचा प्रवास करणाऱ्या लोकांस अंडीं, फळें, इत्यादि पदार्थ चांगल्या स्थितींत मिळावे म्हणून काय योजना करतात ?

(१४) लहान प्रमाणावर बर्फ तयार करण्याच्या उपकरणाचें वर्णन लिहा.

(१५) हवेला द्रव स्थितींत आणण्याकरतां कोणच्या तत्वाचा उपयोग करितात.

(१६) हवेला द्रव स्थितींत कसें आणतात ?

(१७) द्रव हवेचे उपयोग काय ? ती दीर्घकालपर्यंत ठेवावयाची झाल्यास कशी ठेवाल ?

प्रकरण ७ वें.

आर्द्रतामापन (Hygrometry)

हवेची आर्द्रताविषयक स्थितिः—

पाणी उघडया भांड्यांत ठेविलें असतां कांही कालानंतर तें नाहींसें होतें म्हणजे त्याची वाफ होऊन ती हवेंत मिसळून जाते. विद्राव्य घनपदार्थ पाण्यांत टाकला असतां तो ज्याप्रमाणें पाण्यात विरघळून नाहीसा झालेला दिसतो, त्याप्रमाणें पाणीहि हवेंत नाहीसें झाल्यासारखें दिसतें. द्रावण संपृक्त झाल्यावर जर त्यात घनपदार्थ अधिक टाकला तर तो पाण्यांत न विरघळतां बुडाशीं बसतो. हवेंत देखील याचप्रमाणें ती आर्द्रतेनें संपृक्त झाली म्हणजे अधिक ओलावा राहू शकत नाहीं.

कॅल्शियमक्लोराइड अथवा फॉस्फोरिक ऑक्साइडसारखा पदार्थ उघडया बशींत ठेवला असतां ओला होतो यावरून हवेंत नेहमीं ओलावा असतो ही गोष्ट सहज लक्षांत येते.

प्रयोग ६८—एका स्वच्छ पेल्यांत थोडें पाणी घ्या. पेला बाहेरून चांगला कोरडा करा. पेल्यांतील पाण्याचें उष्णमान पाहा. त्यांत थोडेंथोडें बर्फ टाकून हळूहळू थंड करा. पाणी थंड होत असतां पेल्याच्या बाहेरील पृष्ठ-भागाचें नीट निरीक्षण करा. पाणी पुरेसें थंड झालें म्हणजे पेल्याच्या बाहेरील पृष्ठभागावर पाण्याचे थेंब दिसू लागतात. हे पाण्याचे थेंब हवेंतील ओलाव्यामुळेंच उत्पन्न झाले असले पाहिजेत. या प्रमाणें हवा थंड केल्या-मुळे तिच्यांतील वाफ गोठून जे पाण्याचे थेंब पेल्याच्या बाहेरील अंगास दिसूं लागतात त्यांस '**दंव**' Dew असें म्हणतात. ज्या उष्णमानावर ते दिसू लागतात त्या उष्णमानास '**दंव–बिंदु**' (Dew-point) म्हणतात.

दंव दिसण्याकरितां हवा संपृक्त असावी लागते. ज्याअर्थी हवा थंड केल्याने दंव दिसूं लागतें त्याअर्थी थंड हवेची आर्द्रताग्राहक शक्ति उष्ण हवेपेक्षां पुष्कळच कमी असते. यामुळें जेवढी आर्द्रता जास्त उष्ण-मानाच्या हवेंत असूनहि आपणास त्रास होणार नाहीं व हवा कोरडी भासेल तेवढयाच आर्द्रतेनें कमी उष्णमानाची हवा जवळजवळ संपृक्त होऊन हवा

दमट वाटेल व आपणांस त्रास होईल. म्हणून हवेंत किती ओलावा किंवा आर्द्रता आहे हें माहित असण्यापेक्षा हवेंत असलेली आर्द्रता व तिला संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता यांचा परस्पराशीं असलेला संबध किंवा ‘ सापेक्ष आर्द्रता ’ (relative humidity) माहित असणें अधिक महत्वाचें आहे.

सापेक्ष आर्द्रताः– दिलेल्या आकारमानाच्या हवेंत असणारी आर्द्रता / तेवढयाच आकारमानाच्या व त्याच उष्णमानाच्या हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता.

हवा उष्ण असून जर जवळजवळ संपृक्त असेल तर उष्ण हवेमुळें अंगातून बाहेर पडणाऱ्या घामाचें लवकर लवकर बाष्पीभवन होणार नाहीं; आपणांस उकडूं लागेल व गुदमरल्यासारखें होईल.

हवेची आर्द्रताविषयक स्थिति अथवा सापेक्ष आर्द्रता ठरविण्याकरितां दिलेल्या आकारमानाच्या हवेंत किती आर्द्रता आहे हें माहित असावयास पाहिजे. ज्याप्रमाणें द्रावणांत असलेल्या द्राव्य पदार्थाचें प्रमाण

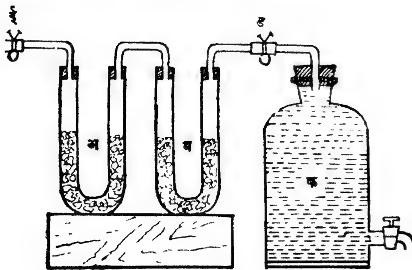
(१) बाष्पीभवन करून–म्हणजे द्रावक व द्राव्य वेगळें करून, किंवा

(२) द्रावण थंड करून, ठरवितां येतें, त्याप्रमाणें हवेंत असलेल्या आर्द्रतेचें प्रमाण

(१) हवा व तिच्यांत असणारी आर्द्रता यांना आर्द्रताशोषक पदार्थांच्या सहाय्यानें वेगळे करून किंवा

(२) हवा थंड करून ठरवितां येतें.

हवेंतील आर्द्रता ठरविणेंः—



आकृति ५७

रीत १ ली, प्रयोग ६९– ‘ अ ’ आणि ‘ ब ’ या दोन यू (U) आकाराच्या नळयात गंधकाम्लपूरित प्यूमिस (pumice) चे तुकडे भरा. त्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एकमेकींस जोडा. या नळयांचीं उघडीं तोंडें बंद करणारे

'ड' आणि 'ई' हे चाप बंद करून नळयाचें वजन करा. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें या नळया 'क' या पाण्यानें भरलेल्या बाटलीस जोडा. 'ड' आणि 'ई' चाप सैल करून बाटलीचा नळ सोडा व त्यांतून अगदीं हळूहळू पाणी वाहूं द्या. हें पाणी एका भांड्यांत गोळा करा. 'क' या बाटलींतील अर्धेअधिक पाणी वाहून गेलें म्हणजे बाटलीचा नळ व 'ड' आणि 'ई' चाप बंद करा. 'अ' आणि 'ब' नळयाचें पुनः वजन करा व बाटलींतून वाहून गेलेलें पाणी मोजा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

'अ' व 'ब' या नळयांचें सुरवातीचें वजन	... ...	$व_1$ ग्रॅम
'अ' व 'ब' या नळयांचें नंतरचें वजन	... ...	$व_2$ ग्रॅम
'अ' आणि 'ब' नळयांतील प्युमिसनें शोषून घेतलेल्या आर्द्रतेचें वजन	...	$(व_2 - व_1)$ ग्रॅम
'क' मधून वाहून गेलेल्या पाण्याचें आकारमान	...	क्ष घन सें. मी.

बाटलींतून पाणी वाहात असतां त्याची जागा भरून काढण्याकरितां 'ई' कडील तोंडातून हवा आंत येऊं लागते व जितकें घन सें. मी. पाणी बाटलींतून जातें तितके घ. सें. मी. हवा बाटलींत येते. 'क' या बाटलींत शिरण्यापूर्वी ही हवा 'अ' आणि 'ब' या गंधकाम्लपूरित प्युमिसच्या तुकड्यानें भरलेल्या नळयांतून जात असल्यानें तिच्यांतील आर्द्रता शोषिली जाते.

∴ क्ष घन सेंटिमिटर हवेंत असलेली आर्द्रता $= (व_2 - व_1)$ ग्रॅम

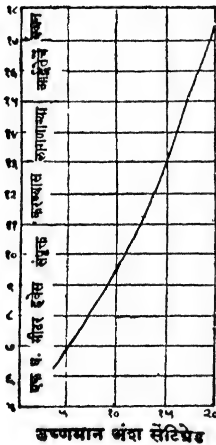
$$\therefore \text{ १ घनमिटर हवेंत असलेली आर्द्रता} = \frac{(व_2 - व_1)}{क्ष} \times (१००)^३ \text{ ग्रॅम}$$

रीत २. प्रयोग ७०—एका परीक्षण नळींत थोडेसें इथर घ्या. या नळींत उष्णमानमापक व एक काटकोन असलेली नळी ठेवा. काटकोनी नळींतून इथरमध्यें फुंका. ही कृति नळीचे बाहेरचे अंगास पाण्याचे थेंब दिसूं लागेतों करा. पाण्याचे थेंब दिसूं लागतांच उष्णमान पाहा म्हणजे दंवबिंदू कळेल.

इथर मधून फुंकलें म्हणजे इथरची वाफ लवकर लवकर होऊं लागते.

ही क्रिया होण्यास लागणारी उष्णता इथर मधूनच काढली जात असल्यानें इथरचें उष्णमान कमी कमी होतें व त्यामुळें नळीच्या सभोंवतीं असलेल्या हवेचें उष्णमानहि कमी कमी होतें. हवा थंड झाल्यानें तिची आर्द्रता-ग्राहकशक्ति कमी होते व तिच्यांत असणारी आर्द्रता तींत मावेनाशी होऊन दंवरूपानें नळीच्या पृष्ठभागावर दिसूं लागते.

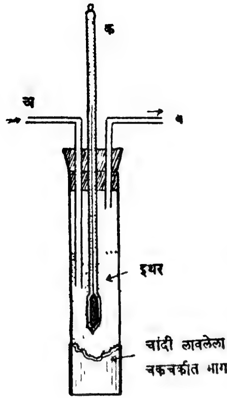
वरील विवेचनावरून दिसून येईल कीं दंवबिंदूचे उष्णमानावर हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता त्यावेळीं हवेंत असते. निरनिराळ्या उष्णमानावर १ घन मीटर हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता दर्शविणाऱ्या आलेखावरून दंवबिंदूचे उष्णमानावर एक घ. मी. हवेस संपृक्त करण्यास किती आर्द्रता लागते हें ठरवा; म्हणजे त्यावेळीं हवेंत असलेली आर्द्रता कळेल. याच आलेखावरून ज्या उष्णमानावर आपण प्रयोग करूं त्या उष्णमानावर १ घ. मि. हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रताहि ठरवा आणि या दोहोंचें गुणोत्तर काढा म्हणजे सापेक्ष आर्द्रता कळेल.



आकृति ५८

सापेक्ष आर्द्रता = हवेंत असणारी आर्द्रता / प्रयोग करतेवेळीं हवेचें जें उष्णमान असेल त्या उष्णमानावर तेवढ्याच हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता

= दंव बिंदूचे उष्णमानावर १ घ. मि. हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता / प्रयोगाचवेळीं असलेल्या हवेच्या उष्णमानावर १ घ. मि. हवेस संपृक्त करण्यास लागणारी आर्द्रता.



आकृति ५९

रेनोचें आर्द्रतामापक यंत्र (Regnaul'ts Hygrometer).

या यंत्राची रचना आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें केलेली असते. चकचकीत पृष्ठभागावर वाफेचें सांद्रीभवन ताबडतोब दिसतें म्हणून परीक्षणनळीच्या खालच्या अंगास चांगली जिल्हई केलेली चांदीची शेंबी बसविलेली असते. 'अ' ही नळी बुडापर्यंत गेलेली असून 'ब' नळी बुचांतून किंचित् खालीं निघालेली असते. 'क' उष्णमानमापक परीक्षणनळींत ठेविलेलें असतें.

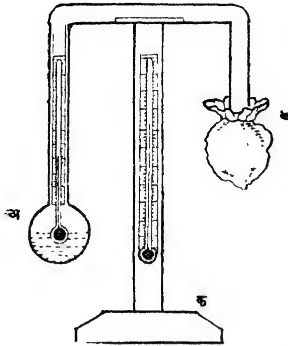
उष्णमानमापकाचा फुगा व त्यावरील कांहीं भाग बुडेल इतकें इथर परीक्षणनळींत घेऊन 'अ' नळींतून फुंकलें म्हणजे इथरची वाफ होते च 'ब' नळींतून बाहेर पडते. इथरची वाफ होण्याकरितां लागणारी उष्णता इथर मधूनच काढली जात असल्यानें तें थंड होते. याप्रमाणें 'अ' नळींतून फुंकित राहिल्यास परीक्षण नळींतील इथर अधिकाधिक थंड होतें व त्याबरोबर नळीच्या भोंवतीं असलेली हवाहि थंड होते. हवेंत असणारी आर्द्रता या थंड हवेस संपृक्त करण्यास जेव्हां पुरेशी होते, तेव्हां ती दंवरूपाने चांदीच्या शेंबीवर दिसूं लागते. यावेळीं उष्णमान पाहतात. नंतर फुंकणें बंद करून शेंबीवरील दंव नाहींसे होताच उष्णमान पाहातात. या उष्णमानांची सरासरी काढून खरा दंवबिंदु ठरवितात व वर सांगितल्याप्रमाणें सापेक्ष आर्द्रता निश्चित करतात.

डॅनियलचें आर्द्रता मापक (Daniel's Hygrometer)

या आर्द्रता मापकांत 'अ' हा फुगा आंतून काळा केलेला असून त्यांत इथर भरलेलें असतें. इथरचें उष्णमान दाखविण्याकरतां आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें 'अ' फुग्यांत एक उष्णमानमापक बसविलेलें असतें. 'अ' फुग्यापासून 'ब' फुग्यापर्यंतचा नळीचा भाग व 'ब' हा फुगा यांत इथरची वाफ भरलेली असते. हें यंत्र 'क' या आधारावर ठेविलेलें असतें. 'क'

या आधारावरच प्रयोगाचे वेळीं असलेलें हवेचें उष्णमान दाखविण्याकरितां एक उष्णमानमापक बसविलेलें असतें. 'ब' फुग्यावर मलमलीचें अथवा रुईचें वेष्टण असतें.

'ब' फुग्यांवर हळूहळू इथर ओतून भात्यानें फुंकलें म्हणजे फुग्यावर पडत असलेल्या इथरचें जलद बाष्पीभवन होतें. बाष्पीभवनास लागणारी उष्णता 'ब' फुग्यांतूनच घेतली जात असल्यानें 'ब' फुग्यांतील इथरच्या वाफेचें साद्री-भवन होतें व 'अ' फुग्यांतील इथरवरील दाब कमी होतो. यामुळें 'अ' मधील अधिक इथरची वाफ होते व ती 'ब' फुग्यांत येते. 'अ' फुग्यांतील इथर बाष्पीभवनामुळें थंड होतें, व त्यामुळें 'अ' भोंवतीं असलेली हवादि थंड होते. हवा थंड होतांच तिच्यांतील आर्द्रता दंवरूपानें 'अ' फुग्यावर दिसूं लागते.



आकृति ६०

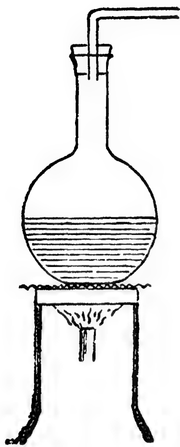
दंव दिसूं लागतांच त्याचें ('अ' मधील इथरचें) उष्णमान पाहतात. नंतर 'ब' फुग्यावर इथर ओतणें बंद करून 'अ' फुगा स्वच्छ होतांच त्यांतील इथरचें पुनः उष्णमान पाहतात. या दोन उष्णमानाची सरासरी काढून दंवबिंदु ठरवितात.

व्यावहारिकदृष्ट्या सापेक्ष आर्द्रता माहित असणें अवश्य आहे. उदाहरणार्थ:— हवेंत जर पुरेसा ओलावा नसेल तर सूत नीट कांततां येत नाहीं. ही अडचण दूर करण्याकरितां म्हणून अलीकडे गिरण्यांतून वाफेचे फवारे सोडून ओलावा उत्पन्न करितात.

ढग Clouds

प्रयोग ७०—चंबूत थोडें पाणी घेऊन आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें उपकरणांची मांडणी करा. चंबूतील पाणी तापवा. चंबूतील पाण्याच्या

पृष्ठ भागावर पाण्याची वाफ दिसते का तें पाहा. ती दिसत नाहीं असें आढळेल. नळींतून बाहेर पडणारी वाफ दिसते का तेंहि पाहा. नळीच्या तोंडाच्या अगदीं जवळ ती दिसत नाहीं, पण तोंडापासून कांहीं अंतरावर मात्र ती ढगासारखी दिसते.



आकृति ६१

वाफ अदृश्य आहे. वाफेचें सांद्रीभवन होऊन पाण्याचे बारीक बारीक थेंब तयार होतात. हवा व पाण्याचे थेंब याचें मिश्रण अपारदर्शक असल्यानें ती ढगासारखी दिसते.

या वरून पाण्याच्या वाफेचें सांद्रीभवन झालें म्हणजे ढग तयार होतात असें सिद्ध होतें.

हवेंतील वाफेचें सांद्रीभवन दोन प्रकारें होतें.

(१) हवेंतील वाफेस एकदम थंड वारे लागले तर तिचें सांद्रीभवन होतें किंवा

(२) उंच उंच पर्वतावरून जेव्हां बाष्पयुक्त हवा जाते तेव्हां इतक्या उंचीवर वातावरणाचा दाब कमी असल्यानें तिचें आकारमान एकदम वाढतें. हवेचें आकारमान एकदम वाढताना तिला पूर्वीची तेथें असलेली हवा दूर लोटावी लागते, त्यामुळें ती थंड होते व तिच्यातील वाफेचें सांद्रीभवन होतें.

वरील प्रकारानें हवेंतील वाफेचें सांद्रीभवन झालें म्हणजे ढग तयार होतात.

ढगांतील पाण्याचे थेंब अतिशय बारिक असतात. हवेचा बराचसा भाग थंड झाला असल्यास हे थेंब खालीं येताना मोठमोठे होतात व पाऊस पडूं लागतो.

धुकें Mist--जमिनीच्या पृष्ठभागाशीं तयार होणाऱ्या ढगाचा हा एक प्रकार आहे. जेव्हां जमिनीजवळील हवेचे थर त्याच्यापेक्षां अधिक वर असणाऱ्या आर्द्रतायुक्त थरांपेक्षां थंड असतात तेंव्हां वरील थरांतील आर्द्रता हळूहळू त्याच्यांत येते व हे खालचे थर आर्द्रतेनें संपृक्त होतात. ते संपृक्त झाले म्हणजे पाण्याच्या वाफेचें धूलिकणासारख्या कणांवर सांद्रीभवन होऊन धुकें दिसूं लागतें.

दंव Dew–जमीन, गवत, घरावरील पत्रे व दगड यांवर थंडीचे दिवसांत जे पाण्याचे थेंब दिसतात त्यास दंव म्हणतात.

दंव केव्हां पडतें ?

जेव्हां

(१) दिवसा कडक ऊन असून रात्री थंडी असते.

उष्ण हवेंत पुष्कळ आर्द्रता राहूं शकते. ती थोडी थंड होतांच तिचें उष्णमान दंव बिंदूच्या खालीं जातें व दंव पडूं लागतें.

(२) आकाश निरभ्र असतें.

जमिनीसारख्या कमी उष्णमानाच्या पदार्थापासून निघालेलीं उष्ण किरणें ढगांतून जाऊं शकत नसल्यानें विसर्जनक्रिया मंदावते व जमिनीवरील हवा लवकर थंड होत नाहीं. यामुळें ढग आले असतां दंव पडत नाहीं.

(३) हवा संथ असते.

वारा वाहात असल्यास जमीनीजवळील हवा दंव बिंदूच्या उष्णमानाइतकी थंड होण्यापूर्वीच तेथून दूर सारली जाते म्हणून वारा वाहात असतां दंव पडत नाहीं.

(४) ज्या पदार्थावर दंव पडतें ते पदार्थ.

(अ) उत्तम उष्णताविसर्जक असतात. पदार्थ उत्तम विसर्जक असल्यानें लवकर थंड होतात.

(ब) चांगले मंदवाहक असतात. पदार्थ मंदवाहक असले म्हणजे ते लवकर तापत नाहींत.

तेव्हां दंव पडतें.

प्रश्नसंग्रह ७ वा.

१ सापेक्ष आर्द्रता म्हणजे काय? ती माहित असणें अवश्य आहे ते कां?

२ सपाट मैदानापेक्षां पर्वतावर पाऊस अधिक कां पडतो?

३ रेनोच्या आर्द्रतामापकाचें वर्णन करा. त्याचा उपयोग सापेक्ष आर्द्रता ठरविण्याकरतां कसा करतात?

४ आंतून ओला असलेल्या चंबूतील हवा वाताकर्षक पंपास जोडून काढली म्हणजे त्यांत धुकें तयार होतें; पण त्यांत हवा सोडतांच तें पुनः नाहीसें होतें तें कां?

५ दंवबिंदू म्हणजे काय? दंव पडण्यास कोणच्या गोष्टी अवश्य आहेत?

६ सापेक्ष आर्द्रता ४०°/。 आहे म्हणजे काय?

७ केटलींत पाणी उकळत असतांतिच्या तोटीच्या अगदीं जवळ कांहींएक दिसत नाहीं; पण तोटीपासून कांहीं अंतरावर मात्र ढगासारखें दिसतें तें कां?

८ पावसाळ्याच्या सुरवातीस उकाडा फार होतो याचे कारण काय?

———

प्रकरण ८ वें.

उष्णतेचें यांत्रिक मूल्य.

(Mechanical equivalent of Heat.)

काम म्हणजे काय व तें कसें मोजतात.

कोणतेंहि काम केलें म्हणजे माणूस थकतो हा नेहमीचा अनुभव आहे. म्हणून जें कार्य केलें असतां थकवा येतो तें कार्य करणें म्हणजे 'काम करणें' असा 'काम' या शब्दाचा रूढार्थ झालेला आहे. डोक्यावर एकादें वजन घेऊन उभें राहणें अथवा विहिरींतून पाणी काढतांना घागर किंवा बादली पाण्यापासून काहीं उचीवर आल्यावर ती तेथेंच धरून ठेवणें यांपैकीं कोणतेंहि कार्य करण्यास माणसास जोर (Force) लागतो व त्यामुळें माणूस थकतो, हें जरी खरें असलें तरी त्यास शास्त्रीय भाषेंत काम करणें म्हणत नाहींत. 'काम' या शब्दास शास्त्रीय भाषेंत विशेष अर्थ आहे. जेणें करून पदार्थाच्या गतींत बदल करितां येईल तें करणें म्हणजे काम करणें, असा काम या शब्दाचा अर्थ आहे. उदाहरणार्थ, जमिनीवरून वजन उचलणें, दगड फेकणें, मोटारगाडी थांबविणें इत्यादि.

जमिनीवरून एक शेराचें वजन उचलण्यास जितका जोर लागतो त्याच्या दुप्पट जोर दोन शेराचें वजन उचलण्यास लागतो. तसेंच एकच पदार्थ जमिनीपासून जितका जितका अधिक उंच उचलावयाचा असेल तितका तितका अधिक जोर लागतो. म्हणून वजन उचलतांना केलेलें काम हें 'पदार्थाचें वजन × तें जितकें वर उचललें असेल तें उभें अंतर' या गुणाकारानें मोजतात. अथवा,

काम = पदार्थाचें वजन × जमिनीपासूनचें उभें अंतर.

= जोर × जोराच्या दिशेनें पदार्थ जितका सरकला असेल तें अंतर.

कामाचें ब्रिटिश माप.

एक पौंड (रत्तल) वजन एक फूट उंच उचलण्याकरितां जें काम करावें लागतें त्या कामास एक '**फूट पौंड**' असें म्हणतात.

मेट्रिक माप.

एक ग्रॅम वजन एक सेंटिमीटर वर उचलण्याकरितां जें काम करावें लागतें त्या कामास एक **ग्रॅम सेंटिमीटर** असें म्हणतात. अथवा,

एक किलोग्रॅम वजन एक मीटर उचलण्याकरितां जें काम करावें लागतें. त्या कामास **किलोग्रॅम मीटर** म्हणतात.

१ किलोग्रॅम मीटर = ७·२३ फूट पौंड.

१ फूट पौंड = ·१३८३ किलोग्रॅम मीटर.

ज्या जोरामुळें एक ग्रॅम पदार्थमानाच्या पदार्थाच्या गतींत एका सेकंदांत एक सेंटिमीटर याप्रमाणें फरक होतो त्या जोरास एक **डाइन** (Dyne) असें म्हणतात.

जोराचें माप डाइन असल्यामुळें, जेव्हां एक डाइन जोरामुळें पदार्थ एक सेंटिमीटर सरकतो तेव्हां एक माप काम झालें असें म्हणतात. या कामाच्या मापास ‘ अर्ग ’ (Erg) म्हणतात.

एक ग्रॅम वजन (एक ग्रॅम पदार्थ मानाच्या पदार्थास पृथ्वी जितक्या जोरानें ओढते तो जोर) = ९८१ डाइन.

∴ १ ग्रॅम सेंटिमीटर = ९८१ अर्ग.

हें माप फार लहान असल्यानें ‘ जूल ’ हें माप उपयोगांत आणतात. हें माप ‘ अर्ग ’च्या एक कोटी पट मोठें असतें.

शक्ति (Energy) म्हणजे काय ?

शक्ति म्हणजे काम करण्याची पात्रता. एका दोरीच्या टोंकास एक लहान व एक मोठें अशीं वजनें बांधून ती दोरी टेबलावर ठेविली तर मोठ्या किंवा लहान वजनांत काम करण्याची पात्रता आहे असें आपणांस वाटणारहि नाहीं; पण मोठें वजन टेबलाच्या कडेशीं आणून जर हळूच सोडलें तर तें खालीं पडतांना लहान वजनास पुढें ओढील, म्हणजे काम करील. पण हेंच वजन जमिनीस टेकतांच लहान वजनास पुढें ओढूं शकणार नाहीं. मोठें वजन वर असतांना त्याच्यांत लहान वजनास ओढण्याची म्हणजे काम करण्याची शक्ति असते पण तेंच वजन जमिनीवर टेकतांच त्यांतील शक्ति नाहींशी होते. मोठ्या वजनांत तें टेबलावर असल्यामुळें जी शक्ति असते ती त्याच्या स्थानामुळें (Position) प्राप्त

झालेली असते. म्हणून या शक्तीस '**स्थान शक्ति**' (Potential energy) असें म्हणतात.

गतिमान् पदार्थांत काम करण्याची पात्रता असतेच. हातोडीनें ठोकलें असतां लांकडांत किंवा भिंतींत खिळा ठोकला जातो. हें काम हातोडीला गति असल्यामुळेंच होते म्हणून गतिमुळें जी शक्ति प्राप्त होते त्या शक्तीस **गतिशक्ति** (Kinetie energy) असें म्हणतात.

शक्तीचें अविनाशित्व (Principle of conservation of energy.)

टेबलावर ठेविलेल्या वजनांत असणाऱ्या स्थान शक्तीचें तें वजन पडूं लागतांच गतिशक्तींत रूपांतर होतें. वजन खालीं येतांना त्याची गति प्रति क्षणीं वाढत असते, म्हणून वजन खालीं येतांना जरी त्याची स्थानशक्ति कमी होत असली तरी त्याची गतिशक्ति वाढत असते.

वरीलप्रमाणें निरनिराळ्या प्रयोगांवरून आतां असें सिद्ध झालें आहे कीं, एकंदर जगात असणाऱ्या शक्तीचें प्रमाण कायम असतें. एका प्रकारच्या शक्तीचें दुसऱ्या प्रकारच्या शक्तींत रूपांतर करतां येतें. पण ती अजीबात नाहींशी करतां येत नाही किंवा नवीन शक्ति निर्माण करतां येत नाही.

हातोडीनें ठोकीत असतां ज्यावेळीं हातोडी खिळ्यावर आपटते त्यावेळीं तिच्यांतील गतिशक्ति नाहींशी होते. अशा रीतीनें थोडावेळ सारखें ठोकल्यावर जर खिळ्यास हात लावून पाहिला तर तो तापलेला आहे असें आढळतें यावरून हातोडीच्या गतिशक्तीचें उष्णतेंत रूपांतर होतें असें दिसेल. शक्तीचा नाश होणे शक्य नाहीं. म्हणून गतिशक्ति नाहींशी होऊन जी उष्णता उत्पन्न होते तीहि एक प्रकारची शक्तीच असली पाहिजे.

उष्णता ही एकप्रकारची शक्ति आहे ही गोष्ट कौन्ट रुमफोर्ड हा तोफांच्या कारखान्यांत धातूला छिद्रें करीत असतां त्याच्या प्रथम नजरेस आली.

उष्णतेविषयींची प्राचीन कल्पना.

उष्णता हा कॅलोरिक नांवाचा एक द्रव आहे. प्रत्येक पदार्थात हा द्रव ग्रहण करण्याची शक्ति वेगवेगळी असते. पाण्याची विशिष्ट उष्णता जास्त

असल्यानें पाणी पुष्कळ कलोरिक ग्रहण करूं शकतें. या द्रवाचा पदार्थाशीं संयोग झाला म्हणजे निराळेच पदार्थ उत्पन्न होतात. जसें बर्फ + कॅलोरिक (उष्णता) = पाणी; पाणी + कॅलोरिक (उष्णता) = वाफ. पाण्यांत भिजविलेला स्पंज पिळला असतां त्यातून जसें पाणी बाहेर पडतें तसें पदार्थ एकमेकांवर घांसले असतां त्यांतून हा द्रव बाहेर पडतो व उष्णमान वाढतें अशी उष्णतेविषयीं पूर्वीच्या शास्त्रज्ञांची कल्पना होती.

उष्णता हा पाण्याप्रमाणें पिळून निघण्यासारखा द्रव असून तो जर घर्षणामुळें पदार्थांतून बाहेर पडत असेल तर पदार्थ कांहीं वेळ घासल्यावर तो संपेल व त्या नंतर ते पदार्थ कितीहि घांसले तरी त्यातून तो द्रव निघणार नाही; पण घर्षणामुळें वाटेल तितकी उष्णता उत्पन्न करिता येते ही गोष्ट प्रथमतः कौंटरुमफोर्डनें व नंतर इतर शास्त्रज्ञांनी प्रयोगांनी सिद्ध केली.

कौंटरुमफोर्डचा (Count Rumford) प्रयोग.

त्यानें एक धातूचा किंचित् पोकळ असा ठोकळा घेऊन त्याच्या पोकळींत पाणी भरलें. उष्णता बाहेर जाऊं नये म्हणून ठोकळ्यास गरम कापडांत गुंडाळलें. त्यास भोंक करण्याकरिता मुद्दामच बोथट गिरमिट घेतलें. हें गिरमिट घोड्याच्या सहाय्यानें सतत अर्धा तास फिरविलें व नंतर ठोकळ्याचें उष्णमान पाहिलें. तेव्हां त्यास असें आढळून आलें कीं एक ग्रॅम धातू पोखरून काढतांना ४००० कॅलोरी पेक्षांहि जास्त उष्णता उत्पन्न होते. या नंतरच्या प्रयोगांत जेव्हां त्यानें छिद्र करण्याची क्रिया अधिकवेळ चालू ठेवली तेव्हां तर याहिपेक्षां जास्त उष्णता उत्पन्न होते असें त्यास दिसलें. घोडा गिरमिट फिरवीत असतां काम करीत होता म्हणजे शक्ति खर्च करीत होता व शक्ति अविनाशी आहे. म्हणून त्याने असें ठरविलें कीं, उष्णता हा वजन नसलेला अदृश्य असा द्रव नसून ती एकप्रकारची शक्ति आहे. पण येवढ्यानें जुन्या शास्त्रज्ञांचे समाधान झालें नाहीं.

डेव्हीचा (Sir Humphrey Davy) प्रयोगः— सर हम्फ्रे डेव्हीनें दोन बर्फाचे खडे एकमेकांवर घासून पाणी तयार केलें.

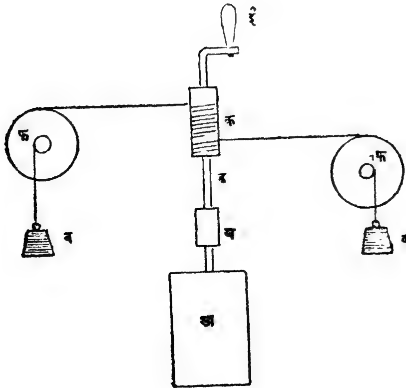
बर्फास उष्णता दिली म्हणजे त्याचें पाणी होतें. म्हणजे पाण्यांत बर्फापेक्षां अधिक कॅलोरिक असतें. दोन बर्फाचे तुकडे घांसून पाणी तयार करणे म्हणजे कमी उष्णता असणारे दोन पदार्थ घांसून त्यांपासून अधिक

उष्णता असणारा पदार्थ उत्पन्न करण्यासारखें आहे. पण असें होणें शक्य नाहीं म्हणून उष्णता हा द्रव नसून ती एक प्रकारची शक्ति आहे. ही उष्णता घर्षणापासून उत्पन्न होते. दोन पदार्थांचें एकमेकांवर घर्षण करण्यास जोर लावून काम करावें लागतें. अशा प्रकारच्या कामास यांत्रिक काम (Mechanical work) म्हणतात. म्हणून उष्णता उत्पन्न करण्यास यांत्रिक काम करावें लागतें.

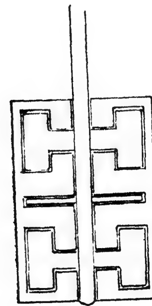
उष्णता ही जर एक प्रकारची शक्ति असेल तर निरनिराळया प्रकारच्या शक्ति सम प्रमाणांत खर्च करून सारखीच उष्णता उत्पन्न करतां आली पाहिजे.

जूलने (Joule) सतत १० वर्षें प्रयोग करून अनेक रीतींनी (पाणी बारीक नळींतून ढकलून, लोखंडी कड्या एकमेकांवर घासून, विद्युत्-प्रवाह सोडून, हवा दाबून, लोखंडी रवी पाऱ्यांत फिरवून आणि पितळी रवी पाण्यात फिरवून) उष्णता उत्पन्न केली आणि उष्णता ही एक प्रकारची शक्ति आहे ही गोष्ट निर्णायक रीतीने सिद्ध केली. याप्रमाणें 'उष्णता हा द्रव आहे' या कल्पनेस त्यानें अखेरची मूठमाती दिली.

जूलचा प्रयोग:-'अ' हें उष्णतामापक पात्र असून त्यांत पाणी आहे.



आकृति ६२



आकृति ६३

वल्ह्यासारखे पितळी पत्रे लावलेली 'ब' ही त्यांत फिरणारी रवी आहे. पाणी सारखें गोल फिरूं नये म्हणून भांड्याचे आंतील बाजूस आकृति २ मध्यें दाखविल्याप्रमाणें पितळी पत्रे लाविलेले आहेत. रवीचा दांडा 'क' या दंडगोलास जोडलेला आहे. 'क' वर दोन दोऱ्या गुंडाळलेल्या असून, या दोऱ्या 'फ' या कप्प्यांवरून नेऊन त्यांस 'व व' हीं वजनें टांगलेलीं आहेत. हीं वजनें खालीं सोडलीं म्हणजे कप्प्या फिरूं लागतात व त्यामुळें रवीहि फिरते. रवी आणि पाणी यांच्या घर्षणामुळें उष्णता उत्पन्न होते. पाण्याच्या उष्णमानांत होणारा फरक पाहण्याकरितां उष्णतामापकांत एक सूक्ष्मभेददर्शी (sensitive) उष्णमान-मापक ठेवलेलें आहे. 'व, व' हीं वजनें वर उचलतांना रवी फिरूं नये म्हणून 'क' दंडगोल रवीपासून मोकळा करण्याची योजना केलेली आहे.

जूलनें हीं वजनें अनेक वेळां खालीं पडूं देऊन काम किती झालें तें काढलें व त्यामुळें उत्पन्न झालेली उष्णता मोजली.

समजा, निरीक्षणें पुढें दाखविल्याप्रमाणें आहेत.

प्रत्येक वजनाचें वजन	व ग्रॅम
वजनें खालीं येण्याचें अंतर	उं सेंटिमीटर
वजनें खालीं येण्याच्या वेळा	क्ष.
उष्णमापकाचें तुल्यजल	$व_1$ ग्रॅम
उष्णमापकांतील पाण्याचें वजन	$व_2$ ग्रॅम
उष्णमानांत झालेली वाढ	ऊ

वजनें पडतांना झालेलें काम=२×व×उं×क्ष ग्रॅम सेंटिमीटर

उत्पन्न झालेली उष्णता=$(व_1+व_2)$×ऊ कॅलोरी.

म्हणून १ कॅलोरी उष्णता उत्पन्न करण्यास करावें लागणारें यांत्रिक काम अथवा उष्णतेचें यांत्रिक मूल्य $J = \frac{२×व×उ×क्ष}{(व_1+व_2)ऊ}$ ग्रॅम सेंटिमिटर.

अनेक प्रयोगांअंतीं जूलला असें आढळून आलें कीं—

१ कॅलोरी उष्णता उत्पन्न करण्यास करावें लागणारें कामः—

=४२७०० ग्रॅम सेंटिमीटर.

=४. १९ कोटी अर्ग.

=४.१९ जूल.

अथवा

१ ब्रिटिश थर्मल युनिट (एक पौंड पाणी एक अंश फॅरीनहीट तापविण्यास लागणारी उष्णता) उत्पन्न करण्यास करावें लागणारे काम.

= ७७८ फूट पौंड

प्रश्नसंग्रह ८ वा.

१ उष्णतेविषयींची जुनी कल्पना काय होती ?

२ कौंट रुमफोर्ड व सर हम्फ्रे डेव्ही यांच्या प्रयोगांचें वर्णन करा व व त्यामुळें हा द्रव आहे ही कल्पना कशी त्याज्य ठरली तें दाखवा.

३ ४ हंड्रेट वेट वजन १०० फूट उंच असलेल्या मनोऱ्यावर चढविण्यास किती काम करावें लागेल? तुमचें उत्तर 'जूल' आणि 'फूट' पौंड' मध्यें सांगा.

४ जूलचा प्रयोग लिहा.

५ नर्मदेच्या धबाधब्याची उंची ५० फूट आहे. पाणी वरून खालीं पडल्यावर त्याच्या उष्णमानांत किती फरक पडेल. (१ थर्मल युनिट =७७८ फूट पौंड)

प्रकरण ९ वें.

उष्णतेमुळें चालणारीं यंत्रें (Heat Engines)

मागील प्रकरणांत उष्णता ही एक प्रकारची शक्ति आहे व ती यांत्रिक काम केलें असतां उत्पन्न होते या गोष्टींचा आपण विचार केला आहे. या प्रकरणांत उष्णतेच्या सहाय्यानें यांत्रिक काम करितां येतें किंवा नाहीं या गोष्टीचा आपण आतां विचार करूं.

प्रयोग ७० वा:— एका मजबूत चंबूंत थोडेंसें पाणी घेऊन त्यास साधारण घट्ट बसेल असें बूच बसवा. तिवईवर ठेवलेल्या जाळीवर चंबू ठेवून त्यास कांहीं वेळ सारखी उष्णता द्या व काय होतें तें पाहा. कांहीं वेळानें 'फट्' असा आवाज होऊन बूच वर उडालें आहे असें दिसेल.

पाणी तापल्यामुळें पाण्याची वाफ होते व तें जसजसें अधिक तापतें तसतशी अधिक पाण्याची वाफ होते. या वाफेस बाहेर जाण्यास मार्ग नसल्यामुळें तिचा पाण्याच्या पृष्ठ भागावर दाब वाढतो व नंतर अधिक पाण्याची वाफ करण्याकरितां त्याचें उष्णमान अधिक वाढवावें लागतें. अशा रीतीनें १००$^{\circ}$ सें. पेक्षां अधिक उष्णमानाची वाफ कोंडली गेली म्हणजे तिचा दाब वाढतो व बूच वर फेंकलें जातें.

प्रयोग ७१ वा:—एका मजबूत चंबूंत थोडें पाणी घेऊन तो एका तिवईवर ठेवलेल्या जाळीवर ठेवा. चंबूस हळूहळू उष्णता द्या व पाणी साधारण उकळण्याच्या बेतास आलें म्हणजे चंबूच्या मानेस घांसून वर-खालीं सरकेल, असा दट्टया चंबूच्या मानेंत बसवा. त्यास मानेच्या खालच्या टोंकापर्यंत ढकला व नंतर सोडून द्या. दट्टयाच्या हालचालीकडे नीट लक्ष द्या. तुम्हांस तो वर ढकलला जात आहे असें दिसेल.

दट्टया चंबूच्या तोंडाशीं आला म्हणजे उष्णता देणें बंद करा व पाणी निवूं द्या. यावेळींहि दट्टयाच्या हालचालीकडे नीट लक्ष द्या. तुम्हांस तो आंत ओढला जात आहे असें दिसेल.

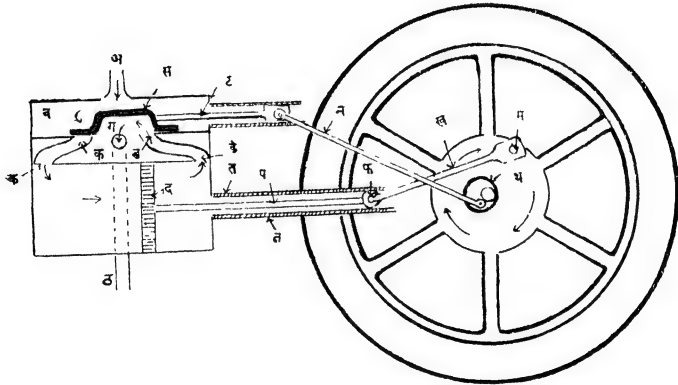
दट्टया मानेच्या खालच्या टोकाशीं आला म्हणजे चंबूस पुनः उष्णता द्या. तुम्हांस असें दिसेल कीं, चंबूंतील पाणी जसजसें अधिक तापतें तस-तसा दट्टया वर, ढकलला जातो.

यावरून कोंडलेल्या वाफेचें उष्णमान जसजसें वाढतें तसतसा तिचा दाब वाढतो व तें जसजसें कमी होतें तसतसा तिचा दाबहि कमी होतो ही गोष्ट सिद्ध होते.

वाफेच्या अंगी असणाऱ्या या गुणधर्माचाच वाफेच्या एंजिनांत (Steam Engine) मध्यें उपयोग केलेला आहे.

ज्या पंपांतील दट्टया वाफेच्या सहाय्यानें वर खालीं करिता येतो असा पंप पहिल्यानें पेपिन (Papin) नें तयार केला. त्यात न्यूकोमेन व कॉले या दोघांनी थोडी सुधारणा केली. वॅटनें सतत ५० वर्षे प्रयत्न करून न्यूकोमेन व कॉले याच्या पंपांत अनेक सुधारणा करून वाफेचें एंजिन तयार केलें.

वाफेचे एंजिनः—या एंजिनांतील महत्त्वाच्या भागाची रचना कशी असते याची नीटशी कल्पना खालील आकृतीवरून सहज करतां येईल.



आकृति ६४

सुमारें २००°सें उष्णमानाची व पुष्कळ दाब असलेली वाफ 'अ' या नळावाटे 'ब' या मजबूत पेटींत येते. या पेटीस **स्टीम चेस्ट** (बाष्प-पेटिका) म्हणतात. या पेटींत पुढें मागें सरकणारी 'स' ही एक सरक झडप (sliding valve) असते. या झडपेमुळें दट्टया ज्या नळकांड्यांत पुढें

मागें सरकतो त्या नळकांड्यांत एकदां क–क मार्गानें व एकदा 'ड–ड' मार्गानें याप्रमाणें वाफ सोडली जाते. 'द' हा दट्ट्या मागें किंवा पुढें सरकविल्यामुळें निःशक्त झालेली वाफ एकदां ड–ग–ठ या मार्गानें व एकदां क–ग–ठ या मार्गानें बाहेर घालविली जाते. एंजिन चालू असतां 'स' ही झडप आपोआप पुढें मागें सरकावी अशी योजना केलेली असते.

कार्य:—समजा सुरवातीस 'द' हा दट्ट्या नळकांड्याच्या डाव्या टोंकाजवळ आहे. यावेळीं स्टीम चेस्टमधून नळकांड्यात वाफ अणणारा 'क क' मार्ग खुला असून 'ड ड' मार्ग 'ग ट' या निःशक्त वाफेस बाहेर घालवून देणाऱ्या मार्गाशीं जोडलेला आहे. दट्ट्याच्या उजवीकडील भागांत प्रसरण पावल्यामुळें निःशक्त झालेली वाफ असून तिचा दाब 'क क' मार्गानें स्टीम चेस्टमधून येणाऱ्या वाफेपेक्षां पुष्कळ कमी आहे. ज्यावेळीं दट्ट्याच्या डावीकडे वाफ येते त्यावेळीं तिचा दाब उजवीकडील वाफेपेक्षा जास्त असल्यानें दट्ट्या मागें सरकतो, व दट्ट्याच्या मागें असलेली निःशक्त वाफ 'ड ड–ग ठ' मार्गानें बाहेर पडते. दट्ट्या नळकांड्याच्या मध्यापर्यंत आला म्हणजे 'स' ही झडप पुढें सरकून 'क क' मार्ग बंद होतो, नळकांड्यांत वाफ येण्याची थांबते.या क्रियेला Cut off म्हणतात. यावेळीं दट्ट्यास मागें ढकलण्याचें कार्य वाफेच्या प्रसरणामुळें होत असतें. दट्ट्या नळकांड्याच्या उजवीकडील टोंकाजवळ गेला म्हणजे 'स' झडप पुढें सरकवून 'ड ड' मार्गाचा 'ग ठ' शीं असलेला संबंध तुटतो व तो स्टीम चेस्टशीं जोडला जातो. याच वेळीं 'क क' आणि 'ग ठ' हे मार्ग जोडले जातात. वाफ आतां 'ड ड' मार्गानें नळकाड्यांत शिरत असल्यामुळें दट्ट्यापुढें (डावीकडे) ढकलला जातो व निःशक्त झालेली वाफ 'क क–ग ठ' या मार्गानें निघून जाते. दट्ट्या अशा रीतीनें डावीकडील टोंकाजवळ गेला म्हणजे पूर्वीप्रमाणेंच सर्व क्रिया होतात. याप्रमाणें एकदा दट्ट्याच्या उजवीकडे व एकदा डावीकडे वाफ सोडून दट्ट्या पुढें मागें सरकवितां येतो व दट्ट्या पुढें मागें सरकला म्हणजे त्यास जोडलेलें मोठें चाक फिरू लागतें.

गतिचक्र (Fly wheel):– 'द' ह्या दट्ट्यास 'प' हा दांडा पक्का बसविलेला असून तो 'त त' या जाड पट्ट्यांच्या (guides) मधूनच

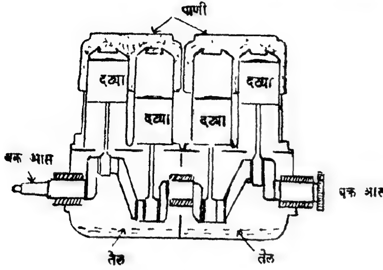
पुढें मागे सरकावा अशी योजना केलेली असते. ‘ ख ’ या दांड्याचे ‘ फ ’ टोंक ‘ प ’ या दांड्यास जोडलेलें असून दुसरें टोंक गतिचक्रावरील ‘ म ’ या बिंदूशी सैलसें जोडलेलें असतें. दट्टया एका टोंकापासून दुसऱ्या टोंकापर्यंत जातांना जास्तीत जास्त जितकें अंतर सरकतो त्या अंतराच्या ‘ फम ’ हें अंतर निम्मे असते. दट्टया मागे किंवा पुढें सरकला म्हणजे चाक फिरूं लागतें दट्टया ज्यावेळीं पूर्णपणें उजवीकडे किंवा डावीकडे येतो त्या वेळीं ‘प’ आणि ‘ ख ’ हे दोन्ही दांडे एकाच सरळ रेषेंत येतात व दट्टयावर कार्य करीत असलेल्या जोराचा चाक फिरविण्याचे कामीं काहींच उपयोग होत नाहीं म्हणून चाक फिरण्याचें थांबण्याचा संभव असतो. याचवेळीं गतिचक्राचा खरा उपयोग असतो. हें चाक अतिशय जड असतें त्यामुळें त्यास एकदा मिळालेली गति त्याच्या जडतेमुळें(inertia) बराच वेळ टिकते व ती नाहींशीं होण्याच्या आंतच तें या स्थितींतून पुढें जातें. हें चाक जर जड नसतें तर ‘ प ’ आणि ‘ ख ’ हे दांडे एका सरळ रेषेंत येतांच चाक फिरण्याचें थांबलें असतें. गतिचक्रास मिळालेली गति त्याच्या जडपणामुळे बराचवेळ टिकत असल्यानें दट्टयापुढेंमागें सरकविण्यासहि या चाकाची मदत होते.

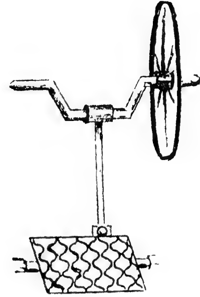
भिन्नमध्य (eccentric) सांधणी.

गतिचक्र फिरत असतां ‘ स ’ ही सरक झडप आपोआप पुढे मागे व्हावी म्हणून ‘ स ’ या झडपेच्या ‘ ट ’ दांड्यास सैलसे जोडलेल्या ‘ न ’ या दांड्याचें टोंक गतिचक्रावर बसविलेल्या ‘ थ ’ या लहान चाकाशीं जोडलेलें असतें. या चाकाचा मध्य व गतिचक्राचा मध्य हे एकमेकांच्या अगदीं जवळ असतात पण ते एकाच ठिकाणी असत नाहींत. गतिचक्र फिरूं लागलें म्हणजे त्यावर बसविलेलें ‘ थ ’ हें लहान चाकहि फिरतें व त्यामुळें सरक झडप पुढेंमागे सरकूं लागते. भिन्नमध्य सांधणीमुळें वर्तुळाकार हालचालीचें सरळ हालचालींत रूपांतर करतां येतें.

वक्र आंस (crank) सरळ हालचालीचे वर्तुळाकार हालचालींत रूपांतर करण्याकरतां मुख्यतः वक्रआसांचा उपयोग करतात शिवण्याच्या यंत्रांत चाकास गोल गति मिळावी म्हणून ज्या रेषेभोंवतीं चाक फिरत असतें त्या रेषेशी काटकोन करील अशा रीतीने त्याचा आंस वांकविलेला असतो.

हा वांकविलेला भाग पाय ठेवण्याच्या पट्टीशीं जोडलेला असतो. ही पट्टी खालीवर केली म्हणजे हा वांक खालीवर होतो व चाक फिरूं लागते.



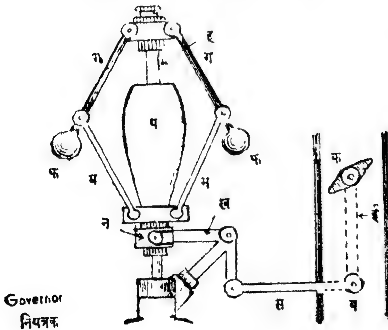


आकृति ६५ व ६६

मोटार गाडीच्या चाकास गोल गति मिळावी म्हणून तिच्या एंजिनांतील दट्टयांचे दांडेहि अशाच प्रकारच्या वक्र आसास जोडलेले असतात.

नियंत्रक (Governor).

एंजिनचा दट्टया ज्या नळकंडयांत पुढेंमागें सरकतो त्यात वाफ जोराने येऊ लागल्यास दट्टयाची हालचाल लवकर लवकर होते व चाकाची गति वाढते आणि वाफ हळूहळू येऊं लागल्यास दट्टयाची हालचालहि हळूहळू होते व चाकाची गति कमी होते. चाक सारख्याच गतीनें फिरावें म्हणून नियंत्रकाची योजना करतात.



आकृति ६७

' फ, फ ' हे जडगोळे ' ग, ग ' या दांडयाच्या सहाय्यानें ' ह ' या आंसास जोडलेले असतात. हा आंस एंजिनामुळे फिरत असतो. ' ग, ग ' हे दांडे ' म, म ' या दांडयांनीं ' ह ' आंसावर वर खालीं

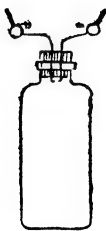
सरकणाऱ्या ‘ न ’ या कडीशी जोडलेले असतात. ‘ न ’ या कडीस ‘ प ’ हें जड वजन लावलेलें असतें. ‘ ख ’ या काटकोनाकृति तरफेची एक बाजू ‘ न ’ या कडीशीं व दुसरी बाजू ‘ स ’ या दाड्यामार्फत ‘ क ’ या चोंद झडपे (Throttle valve) च्या ‘ई’ या दांड्यास जोडलेली असते.

कार्यः—एंजिन चालू असता केंद्रत्यागी (Centrifrugal force)जोराचे गोळ्यांवर कार्य होऊन ते ‘ ह ’ या आंसापासून स्थिरस्थिती प्राप्त होईतों दूर फेंकले जातात. ही स्थिरस्थिति ‘ ह ’ या आसाच्या गतीवर अवलंबून असते. गति जास्त झाल्यास गोळे वर उचलले जातात व त्यामुळें ‘ न ’ ही कडीहि वर सरकते. कडी वर सरकली म्हणजे ‘ स ’ दांडा ओढला जातो व त्यामुळे ‘ क ’ ही चोंद झडप फिरते व वाफेच्या नळाचें तोंड किंचित बंद होते. याचे उलट ‘ ह ’ ची गति कमी झाल्यास गोळे खालीं येतात. गोळे खालीं आले म्हणजे ‘ न ’ ही कडी खालीं सरकते व त्यामुळें चोंद झडप उलट दिशेने फिरून वाफेच्या नळाचें तोंड अधिक मोकळें होतें. याप्रमाणें एंजिनांत येणाऱ्या वाफेचें आपोआप नियंत्रण केलें जातें.

अंतर्ज्वलन एंजिनें (Internal combustion engines.)

वाफेप्रमाणें वायूहि स्थितिस्थापक असतात. वाफ तापवून तिचा दाब वाढविल्यास ती जशी काम करण्यास समर्थ होते, तसेंच वायूहि तापवून त्याचा दाब वाढविल्यास काम करण्यास समर्थ होतात. ही गोष्ट पुढील प्रयोगावरून दिसून येईल.

प्रयोग ७२:—एक जाड व गोल बुडाची बाटली घेऊन तिला तारेच्या जाळींत नीट गुंडाळा. या बाटलींत १/५ भाग गॅसच्या दिव्यांत जळणारा वायु व ४/५ भाग हवा असें मिश्रण भरा या बाटलीस घट्ट बसेल असें बूच लावा. या बुचांतून दोन लोखंडी तारा घाला. या तारांचीं बाटलींतील टोकें एकमेकांच्या अगदीं जवळ आणा पण एकमेकांस चिकटवूं नका. तारांचीं बाहेरील टोकें विदयुत् यंत्राशीं जोडून बाटलींतील वायूंत विदयुत्‌ची ठिणगी पाडा व काय होतें तें पाहा.



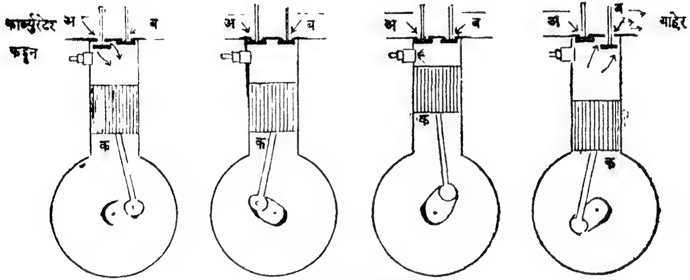
आकृति ६८

ठिणगी पडताच मोठा स्फोट होतो व बूच वर उडतें असें दिसेल.

विदयुत्‌ची ठिणगी पडल्याने आंतील वायूंचें ज्वलन होतें ज्वलनामुळें उत्पन्न होणाऱ्या वायूंचें उष्णतामान फार असते व त्यामुळें त्याचा बुचावर दाब वाढतो व बूच वर उडतें.

सुरुंग पेटविला असतां दगड वर उडतात याचेंहिं कारण हेंच आहे.

ज्या एंजिनांत पेटणारा वायु व हवा यांचें मिश्रण वापरतात त्यास Gas-engines असें म्हणतात. या एंजिनात दट्ट्या ज्या नळकांड्यांत पुढे-मागे सरकतो.ज्वालाग्राही पदार्थत्यांत विद्युत्‌च्या ठिणगीने किंवा अन्य तऱ्हेनें पेटवितात म्हणून यांना अंतर्ज्वलन एंजिनें Internal combustion engines म्हणतात. मोटारी व विमानें यांतून असल्याच प्रकारच्या एंजिनांचा उपयोग



पट्रोल एंजनच्या क्रिया

आकृति ६९, आकृति ७०, आकृति ७१, आकृति ७२.

करतात. या एंजिनांत पेट्रोलच्या वाफेचा ज्वालाग्राही पदार्थ म्हणून उपयोग करतात.म्हणून त्यास Petrol engines म्हणतात.पेट्रोलची वाफ व हवा याचें मिश्रण कार्ब्युरेटर(Carburettor)मध्यें तयार करतात. पिठाच्या चक्क्या वगैरे चालविण्याकरतां जीं एंजिनें वापरतात, त्यात बहुधा अशुद्ध तेल Crude oil वापरतात म्हणून त्यांस तेलांची एंजिनें असें म्हणतात.

पेट्रोलच्या व तेलांच्या एंजिनांत दट्ट्याचा पूर्ण फेरा होईतों पुढीलप्रमाणें कार्य होतें. हें कार्य साधारणतः पुढे सांगितल्याप्रमाणें चार टप्प्यांत होते.

टप्पा १ ला. आ. १ यांत दट्ट्याखाली सरकतो व ' अ ' ही झडप उघडून हवा व तेलाची वाफ यांचें मिश्रण नळकांड्यांत शिरतें. यावेळीं ' ब ' ही झडप बंद असते.

टप्पा २ रा. आ. २ यावेळीं 'अ' आणि 'ब' या दोन्ही झडपा बंद असतात. दट्टया वर सरकून वायु व हवा यांचें मिश्रण दाबलें जातें.

टप्पा ३ रा. आ. ३. दट्टया वर पोचला म्हणजे मिश्रणांत विद्युत्ची ठिणगी पाडण्यांत येते. विद्युत्च्या ठिणगीनें पेट्रोल अथवा तेलाची वाफ ताबडतोब जळते व नळकांड्यांत वायूचा दाब वाढतो, म्हणून दट्टया खालीं सरकतो. यावेळीं 'अ' आणि 'ब' या दोन्ही झडपा बंद असतात. याच टप्प्यांत तापलेल्या वायूच्या दाबाचा परिणाम होतो.

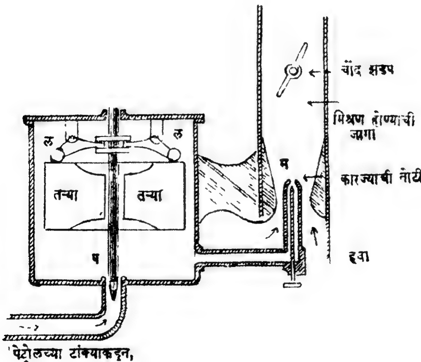
टप्पा ४ था. आ. ४ या वेळीं दट्टया वर सरकतो व निःशक्त झालेला वायु 'ब' ही झडप उघडून बाहेर पडतो.

दट्टयाचे दांडे वक्र आसास जोडून दट्टयाच्या सरळ रेषेंत होणाऱ्या हालचालीचें वर्तुलाकार हालचालींत रूपांतर करून घेतात.

गाडीची गति सारखी राहावी म्हणून मोटारच्या एंजिनांत दोन पासून बारापर्यंत नळकांडीं (cylinders) वापरतात.

उष्णतेमुळें हीं नळकांडीं फार तापूं नयेत म्हणून त्यांचेभोंवतीं पाणी खेळते ठेवतात किंवा त्यांना पंख (fins) लावून त्यांचा पृष्ठभाग वाढवितात व हवेनें थंड करतात.

कार्ब्युरेटर (Carburettor):–यांत पेट्रोल किंवा केरोसीन यांचे तुषार



आकृति ७२

व तेलाचें पूर्ण ज्वलन होण्याकरितां अवश्य असणारी हवा यांचें योग्य प्रमाणांत मिश्रण करण्याची योजना असते.

टाक्यांतून येणारें पेट्रोल ' प ' या झडपेमार्फत तऱ्या (Floats) असणाऱ्या पेटींत शिरते. या पेटींत पेट्रोल एका विशिष्ट मर्यादेपर्यंत वरचढलें म्हणजे तऱ्या ' ल, ल ' या तरफाना दाबतात व त्यामुळें ' प ' झडप बंद होतें. या पेटींतून पेट्रोल तुषार उडविणाऱ्या ' म ' तोटींत जातें. एंजिन चालू असतां आ. १ (आकृति ६८) मध्यें दाखविल्याप्रमाणें दट्ट्या ज्या वेळीं खालीं येतो त्यावेळीं ' म ' तोटी वरून हवा जोरानें आंत शिरते व ' म ' मधून निघणाऱ्या तेलाच्या तुषारांत मिसळते. या दोहोंचें मिश्रण चोंद झडपेंतून एंजिनकडे जातें.

प्रश्नसंग्रह ९ वा.

१ वाफेच्या कोणच्या गुणधर्मांचा वाफेच्या एंजिनात उपयोग केलेला आहे ?

२ सरक झडप, नियंत्रक, व गतिचक्र यांचें एंजिनांतील कार्य नीट समजाऊन सांगा.

३ मोटार गाडीला सारखी गति मिळावी म्हणून काय योजना केलेली असते ?

४ सरळरेषेंत होणाऱ्या हालचालीचें वर्तुळाकार हालचालींत व वर्तुळाकार हालचालीचें सरळ हालचालींत रुपांतर कसें करतात ?

५ गॅसएंजिनमधील कार्य ज्या चार टप्प्यांत होतें त्याचें वर्णन लिहा.

विज्ञान-भाग २ रा.

प्रकरण १० वें.

चुंबकत्व (Magnetism)

दिशादर्शक

लोखंडास आकर्षण करणाऱ्या एका काळ्या रंगाच्या दगडाविषयींची माहिती फार जुनी आहे. हा दगड दोऱ्यानें टांगून ठेवला असता उत्तर–दक्षिण स्थिर होतो, ही गोष्ट इ. स. पूर्वी सुमारें २४०० वर्षे चिनी लोकांच्या नजरेस आली होती, त्यामुळें या दगडास 'दिशादर्शक दगड' (Lode stone, Leading stone) असें नाव पडलें. या जातीचा दगड प्रथम एशिया मायनरमध्यें मॅग्निशिया नावाच्या ठिकाणीं सापडला म्हणून त्यास इंग्रजींत Magnet (चुंबक) हेंहि नांव प्राप्त झालें. हा दगड लोखंडाचा एक प्रकारचा प्राणिद (Oxide) असून Magnetite नावाच्या खनिज पदार्थाच्या जातीचा असतो.

प्रयोग ७३—एक दिशादर्शक दगड घेऊन त्यास लोखंडाच्या किसांत घोळा. त्याच्या सर्व भागास लोखंडाचा कीस सारख्याच प्रमाणांत चिकटतो का पाहा. तो कांहीं भागास अधिक चिकटतो व कांहीं भागास चिकटत नाहीं असें दिसेल.



आकृति ७४

प्रयोग ७४—दिशादर्शक दगडाच्या ज्या भागास लोखंडाचा कीस सर्वांत जास्त चिकटतो त्या भागावर खुणा करा. त्यांना सांधणारी रेषा क्षितिज समांतर पातळींत राहील व तो मोकळा फिरेल अशा रीतीनें, तो लांकडी आधारावर (Stand) बिनपिळाच्या धाग्यानें टांगा. तो स्थिर होऊं द्या. खुणा केलेले भाग कोणीकडे आहेत तें पाहा. ते उत्तर आणि दक्षिण या दिशांकडे आहेत असें दिसेल. त्याच्या उत्तरेकडील टोंकावर खडूनें खूण करा. स्थिर स्थितींतून तो हलवा व पुनः स्थिर होऊं द्या. खडूची खूण असलेलें टोंक पुन: कोणीकडे येतें तें पाहा. तें उत्तरेकडेच येतें व दिशादर्शक उत्तर–दक्षिण स्थिर होतो असें तुम्हांस दिसेल.

प्रयोग ७५—दिशादर्शकाच्या ज्या भागांस लोखंडाचा कीस अधिक चिकटतो त्यांपैकीं एक भाग टांगलेल्या दिशादर्शकाच्या उत्तरेकडील टोंकाजवळ आणा व काय होतें तें पाहा. तोच भाग नंतर दुसऱ्या म्हणजे दक्षिणेकडील टोंकाजवळ न्या व काय होतें तें पाहा. एक वेळ दिशादर्शकाचें टोक आकर्षिलें जातें व दुसऱ्या वेळीं तें दूर लोटलें जातें असें तुम्हांस दिसेल.

प्रयोग ७६—दिशादर्शकाच्या ऐवजीं पट्टीचे चुंबक घेऊन प्रयोग ७३, ७४ आणि ७५ पुनः करा. पट्टीचा चुंबक व दिशादर्शक यांच्यामध्यें निकटसाम्य आहे असें तुम्हांस आढळून येईल.



आकृति ७५

प्रयोग ७७—लोखंडी पट्टी अथवा पोलादी कमानीचा तुकडा घेऊन प्रयोग ७३ व ७४ पुनः करा. लोखंडी पट्टी अथवा पोलादी कमान आणि दिशादर्शक यांच्यात कांहीं साम्य आहे का पाहा. त्याच्यांत मुळींच साम्य नाहीं असें तुमच्या नजरेस येईल.

वरील प्रयोगांवरून पुढील गोष्टी सिद्ध होतात असें दिसेल.

१ चुंबकाच्या टोंकांकडे लोखंडाचा कीस सर्वांत जास्त चिकटतो.

२ चुंबकाच्या मध्यभागीं लोखंडाचा कीस सर्वांत कमी चिकटतो.

३ चुंबक क्षितिज–समांतर–पातळींत टांगून स्थिर झाला असतां त्याचीं टोंकें नेहमीं उत्तर–दक्षिण दिशा दाखवितात.

क्षितिज समांतर पातळींत मोकळा फिरेल अशा रीतीनें चुंबक टांगला असता त्याचें जें टोंक उत्तरेकडे राहतें त्या टोंकास **उत्तर दर्शी ध्रुव** North seeking Pole अथवा **उत्तर ध्रुव** North Pole व दुसऱ्या टोंकास **दक्षिण ध्रुव** South Pole म्हणतात. हे **ध्रुव सांधणाऱ्या रेषेस चुंबकीय आंस** Magnetic axis of a magnet असें म्हणतात.

चुंबकीय आकर्षण आणि प्रतिसारण.

प्रयोग ७८—चुंबकपट्टी एका तांब्याच्या तारेच्या रिकाबींत ठेवून पीळ नसलेल्या दोऱ्यानें टांगा. तिला स्थिर होऊं द्या. तिच्या उत्तरेकडील टोंकाजवळ दुसऱ्या चुंबक पट्टीचा एकदां दक्षिण ध्रुव व एकदा उत्तर ध्रुव आणा व काय होतें तें पाहा. त्याचप्रमाणें तिच्या (टांगलेल्या चुंबक-

पट्टीच्या) दक्षिणेकडील टोंकाजवळ दुसऱ्या चुंबकाचा उत्तर व दक्षिण ध्रुव एकेकदां आणा व काय होतें तें पाहा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्या-प्रमाणें लिहा.

टांगलेल्या चुंबकाचा ध्रुव	जवळ आणलेला ध्रुव	निरीक्षण
उत्तर ध्रुव	दक्षिण ध्रुव	आकर्षण
उत्तर ध्रुव	उत्तर ध्रुव	प्रतिसारण
दक्षिण ध्रुव	,,	आकर्षण
दक्षिण ध्रुव	दक्षिण ध्रुव	प्रतिसारण

वरील निरीक्षणांवरून असें दिसेल कीं,

(१) विजातीय धव एकमेकांना आकर्षितात.

(२) सजातीय धृव एकमेकांना प्रतिसारितात

प्रयोग ७९—प्रयोग ७६ मध्यें सांगितल्याप्रमाणें एक चुंबक टांगून त्याच्या दोन्ही धृवांजवळ लोखंडी पट्टीचें एकच टोंक व तसेंच पोलादी पट्टीचें एकच टोंक क्रमाक्रमानें आणा व काय होते तें पाहा. लोखंडी व पोलादी पट्टीच्या एकाच टोंकाकडे टांगलेल्या चुंबकाचे दोन्हीहि ध्रुव आकर्षिले जातात असें दिसेल.

प्रयोग ७८ व ७९ वरून **चुंबकत्वाची खरी परीक्षा** म्हणजे **प्रतिसारण असते** हें सहजच लक्षांत येईल.

चुंबकीय व अचुंबकीय पदार्थ Magnetic and Non-magnetic Substances.

प्रयोग ८०—प्रबल चुंबकाचें एक टोंक अनुक्रमें जस्त, कथिल, तांबें, लांकूड, कांच, लोखंड, पोलाद, निकल या पदार्थांच्या तुकड्यांजवळ आणा. यांपैकीं कोणते पदार्थ चुंबकास चिकटतात व कोणते चिकटत नाहींत तें पहा. पदार्थांचें वर्गीकरण खालीं दाखविल्याप्रमाणें करा.

१ **चुंबकास चिकटणारे पदार्थ**—लोखंड, पोलाद, निकल,...

२ **चुंबकास न चिकटणारे पदार्थ**—तांबें, लांकूड, कांच...

जे पदार्थ चुंबकाकडे आकर्षिले जातात अथवा त्यास चिकटतात त्यांना **चुंबकीय** (Magnetic) पदार्थ म्हणतात. जे पदार्थ आकर्षिले जात **नाहींत**

त्यांस **अचुंबकीय** (Non-magnetic) पदार्थ म्हणतात.

६५ भाग तांबें, २७ भाग मँगॅनीज व ८ भाग निकल यांचे मिश्रण करून उत्तम चुंबकीय पदार्थ तयार करता येतो.

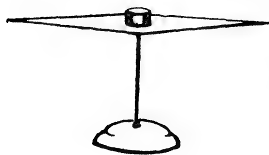
चुंबक व चुंबकीय पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असतें.

प्रयोग ८१— चुंबक पट्टी क्षितिज-समांतर पातळींत मोकळी फिरेल अशा रीतीनें पीळ नसलेल्या धाग्यानें लाकडी आधारावर टांगा. तिच्या टोंकाजवळ लोखंडी पट्टीचें टोंक आणा. व काय होते तें पाहा चुंबकपट्टी लोखंडी पट्टीकडे आकर्षिली जाते असें दिसेल. चुंबकपट्टीचे ऐवजीं लोखंडी पट्टी टांगा, व चुंबकाचें टोंक लोखंडी पट्टीच्या टोंकाजवळ आणा व काय होते तें पाहा; लोखंडी पट्टी चुंबकाकडे आकर्षिली जाते असें आढळेल. यावरून चुंबक व चुंबकीय पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असते हें सिद्ध होतें.

चुंबक शक्तीचें कार्य अचुंबकीय पदार्थांतून होतें पण चुंबकीय पदार्थांतून होत नाहीं.

प्रयोग ८२—कांचेचें तावदान, बारीक लांकडी फळी, किंवा कागदाचा तुकडा घेऊन त्यावर शिवण्याची सुई ठेवा. चुंबकाचें टोंक तावदानाच्या, लांकडीफळीच्या अथवा कागदाच्या तुकड्याच्या खालीं ठेवून इकडून तिकडे फिरवा व सुई फिरते का पाहा. चुंबकाच्या टोंकाबरोबर सुईही इकडून तिकडे फिरते असें दिसेल यावरून चुंबकाचें कार्य अचुंबकीय पदार्थांतून (पलीकडे) होतें हें सिद्ध होतें.

प्रयोग ८३— लोखंडी पत्र्यावर शिवणाची सुई ठेवा व पत्र्याच्या खालच्या बाजूनें मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें प्रबल चुंबकाचें टोंक फिरवा व सुई फिरते का पाहा, सुईवर चुंबकाचा मुळींच परिणाम होत नाहीं असें दिसेल. ह्मणजे चुंबकीय पदार्थांतून चुंबकाचें कार्य होत नाहीं.



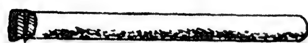
आकृति ७६

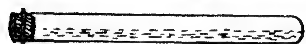
चुंबकीय सुई (Magnetic needle) ही बहुधा बारीक पोलादी पत्र्याच्या चुंबकाची असून समचतुष्कोणाकृति असते. हिच्या मध्यभागीं एक पोकळ वाटी बसविलेली असते. या वाटींत पोकळ शंकूच्या आकाराचा एक अकीक बसविलेला असतो.

ही वाटी बैठकींत बसविलेल्या उभ्या सुईच्या अग्रावर ठेवली असतां सुई क्षितिजसमांतर पातळीत मोकळीं फिरते.

चुंबकत्व हें कणांच्या विशेष प्रकारच्या मांडणीवरच अवलंबून असतें.

प्रयोग ८४—कांचेची परीक्षण नळी घेऊन तिच्यांत लोखंडाचा कीस भरा व बूच लावा. ही नळी चुंबक सुईच्या दोन्ही टोंकांजवळ नेऊन पाहा. चुंबक सुईची दोन्हीं टोंकें नळीकडे आकर्षिली जातात असें दिसेल. नळी क्षितिज-समांतर पातळींत स्थिर ठेवून तिच्यावरून प्रबल चुंबकाचें उत्तर टोंक, नळींच्या बुडाकडून तोंडाकडे एकाच दिशेनें १५।२० वेळ फिरवा. नळींतील लोहकणांत कांहीं हालचाल होत आहे का पाहा. त्यांत एक प्रकारची हालचाल होत असून प्रत्येक कणाची लांबी नळीच्या लांबीस समांतर येईल अशा रीतीनें त्यांची मांडणी होत आहे असें दिसेल. नळींतील कण हालूं न देतां ही नळी बिनपिळाच्या धाग्यानें लांकडी आधारावर टांगा. नळी कोणत्या दिशेनें स्थिर होते तें पाहा. ती दक्षिणोत्तर दिशेनें स्थिर राहतें व ज्या टोंकापासून चुंबक फिरविण्यास सुरवात केली तें टोंक उत्तरेकडे येतें असें दिसेल.





आकृति ७७

या नळीच्या ज्या टोंकापासून चुंबक फिरविण्यास सुरूवात केली असेल तें टोंक चुंबक-सुईच्या उत्तर टोंकाकडे न्या व काय होतें तें पाहा. तसेंच नळीचें दुसरें टोंक चुंबक-सुईच्या दक्षिण ध्रुवाकडे नेऊन पाहा. प्रत्येक वेळीं चुंबकसुईचें टोंक प्रतिसारलें जातें, असें दिसेल.

यावरून लोहकण असलेल्या नळीवरून चुंबक एकाच दिशेनें फिरविला असतां नळींतील लोहकणांत चुंबकत्व येतें हें सिद्ध होतें.

प्रयोग ८५— मागील प्रयोगांत सांगितलेल्या नळींतील लोहकण नळींतच जोरानें हालवा व नळी चुंबकसुईजवळ न्या व काय होतें तें पाहा. चुंबक-सुईचीं दोन्ही टोंकें नळीच्या दोन्हीं टोंकांकडे आकर्षिली जातात म्हणजे नळींतील लोखंडी कणांतील चुंबकत्व नाहींसें होतें असें दिसेल.

नळींतील लोहकणांची विवक्षित प्रकारें मांडणी केली तरच नळींत चुंबकत्व येतें, पण त्या मांडणीत जर बिघाड केला तर नळींतील चुंबकत्व नाहींसें होतें असें वरील प्रयोगावरून सिद्ध होतें.

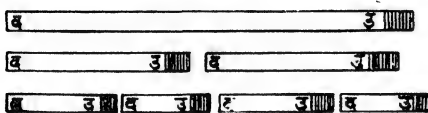
प्रयोग ८६—चुंबकत्व असलेली पोलादी सुई (विणण्याची) अथवा लोखंडी पट्टी घेऊन तिला लाल तापवा व तिच्यांत चुंबकत्व राहतें किंवा नाहीं तें चुंबकीय सुईच्या साहाय्यानें पाहा. सुइतील चुंबत्कव पूर्णपणें नाहीसें झालें आहे असें दिसेल.

प्रयोग ८७—चुंबकत्व असलेली पोलादी सुई व लोखंडी पट्टी घ्या. त्या दोघांनाहि फरशीवर आपटा. आपटल्यानंतर त्यांत चुंबकत्व राहतें कां पाहा. लोखंडी पट्टीतील चुंबकत्व पूर्णपणें नाहींसें झालेलें असून पोलादी सुईतील चुंबकत्व बरेचसें नाहीसें झालें आहे असें दिसेल.

प्रयोग ८८—प्रबल चुम्बकाच्या विरुद्ध प्रकारच्या ध्रुवामध्यें चुम्बकत्व नसलेली लोखंडी पट्टी ठेवा व तिला हातोडीनें हळूहळू टोका अथवा चांगली लाल होइतों तापवा. नंतर तेथेंच तिला निवू द्या. तिच्यांत चुम्बकत्व आलें आहे किंवा नाही तें पाहा. तिच्यांत चुम्बकत्व आलें आहे असें आढळून येईल.

वरील प्रयोगांवरून दिसून येईल कीं चुम्बकत्वाचा त्या पट्टींतील कणांच्या मांडणीशीं कांहीं विशेष संबंध असला पाहिजे. ज्या ज्या कारणा-मुळें (जसें–तापविणें, आपटणें वगैरे) त्यांच्या रचनेंत फरक होतो त्या त्या कारणांनीं चुम्बकांतील चुम्बकत्व नाहींसें होतें.

प्रयोग ८९—चुंबकत्व असलेला घड्याळाच्या कमानीचा सुमारें १० सें.मी. लांबीचा तुकडा घ्या. त्यास टांगून त्याचें कोणतें टोंक उत्तरेकडे राहतें तें पाहा व त्यावर खूण करा. त्यास तोडून त्याचे दोन भाग करा.



आकृति ७८

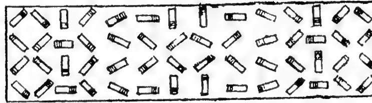
प्रत्येक भाग चुंबक-सुईजवळ नेऊन त्याचें परीक्षण करा. प्रत्येक भागास उत्तर व दक्षिण ध्रुव असून प्रत्येक भाग पूर्ण चुंबक आहे असें आढळेल.

त्याचप्रमाणें कमानीच्या मध्यभागीं म्हणजे जेथें पूर्वी लोहकण चिकटत नसत तेथें ते आता (दोन भाग केल्यावर) चिकटतात व छेदाच्या ठिकाणीं या दोन्ही भागांचे विरुद्ध ध्रुव एकत्र आलेले असतात असेंहि दिसेल. त्यांपैकीं एक भाग घेऊन पुनः त्याचे दोन तुकडे करा. नवीन झालेल्या तुकड्यांचें पूर्वीप्रमाणें चुंबक सुईच्या सहाय्यानें परीक्षण करा. ते दोन्ही तुकडे पूर्ण चुंबक असून त्याच्या टोंकांकडे विजातीय ध्रुव उत्पन्न झालेले आहेत व छेदाच्या ठिकाणीं दोन विजातीय ध्रुव आहेत असें दिसेल.

याप्रमाणें कोणत्याहि चुंबकाचे लहान तुकडे करीत गेल्यास असें दिसेल कीं, चुंबकाचा लहानांत लहान कण देखील एक स्वतंत्र चुंबक असतो. या स्वतंत्र चुंबकांची पूर्वीच्या क्रमानें मांडणी केल्यास त्याचीं सजातीय टोंकें एकाच बाजूला येतात व पूर्वीचा मोठा चुंबक तयार होतो.

चुंबकत्वाची अणुमय कल्पना(Molecular theory of magnetism)

१ चुंबकीय पदार्थांचा प्रत्येक अणु पूर्ण चुंबक असून त्यास उत्तर व दक्षिण ध्रुव असतात.



आकृति ७९

२ चुंबकीय पदार्थात चुंबकत्व आणण्यापूर्वी या अणुचुंबकांची मांडणी व्यवस्थित नसते व त्यामुळें त्यांच्या चुंबक शक्ती एकमेकींना निर्बल करितात; म्हणून चुंबकीय पदार्थांतील चुंबकत्व दृग्गोचर होत नाहीं.

३ चुंबकत्व आणण्याची क्रिया म्हणजे या अणुचुंबकांचे उत्तर ध्रुव एका बाजूला व दक्षिण ध्रुव एका बाजूला येतील अशा रीतीनें मांडणी करणें होय.

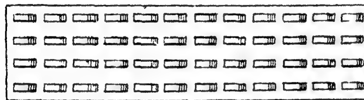
वरील कल्पनेची सत्यता पुढील गोष्टींवरून सहज पटण्यासारखी आहे.

(१) चुंबकाचे कितीहि लहान तुकडे केले तरी एकच ध्रुव असलेला चुंबक आपणास मिळवितां येत नाहीं, ही गोष्ट आपण प्रयोग ८९ मध्यें पाहिलीच आहे.

(२) कोणत्याहि चुंबकाच्या एका टोंकाकडे जितकी शक्ति असते तितकीच दुसऱ्या टोकाकडे असते.

(३) चुंबकीय पदार्थात एका विशिष्ट मर्यादेपलीकडे चुंबकत्व आणता येत नाहीं.

प्रयोग ९०--एका गोल डबींत अंशाच्या खुणा केलेला गोल खरडा बसवा. खरडयाच्या (डबीच्या) मध्यभागीं असलेल्या एका उभ्या सुईच्या अग्रावर एक चुंबकीय सुई टांगा. एका लोखंडी पट्टीवरून प्रबल चुंबकाचें एक टोंक ५ वेळ एकाच दिशेनें घासा. या पट्टीचें टोंक सुईशीं काटकोन करणाऱ्या रेषेवर सुईच्या अग्रापासून ५ सें. मी. अंतरावर ठेवा व चुंबकीय सुईचें विचलन किती अंश होतें तें पाहा. लोखंडी पट्टीवरून चुंबक १०,१५ व २० वेळ घासा. प्रत्येक वेळीं चुंबक सुईजवळ तेवढयाच अंतरावर आणून विचलन पाहा. तुम्हास असें दिसेल कीं विचलन पहिल्यानें वाढतें व नंतर लोखंडी पट्टीवरून चुंबक कितीही वेळा घासला तरी विचलनांत फरक होत नाहीं. यावरून चुंबकत्व उत्पन्न करणारी शक्ति कितीही प्रबल असली तरी



आकृति ८०

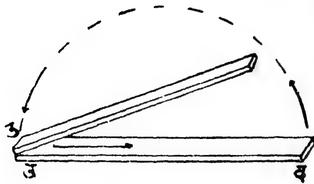
कोणत्याहि चुंबकीय पदार्थात एका विशिष्ट मर्यादेपलीकडे चुंबकत्व आणतां येत नाहीं. यावेळीं चुंबकीय पदर्थातील सर्व अणुचुंबकांचे उत्तर ध्रुव एका बाजूला व दक्षिण ध्रुव एका बाजूला याप्रमाणें झालेले असतात.

चुंबक तयार करण्याच्या रीती—

रीत १ ली—एक--स्पर्श पद्धति Method of single touch.

प्रयोग ९१ पोलादी किंवा लोखंडी पट्टीचा एक लहान तुकडा घेऊन तो टेबलावर ठेवा. त्याच्या एका टोंकावर प्रबल चुंबकाचा एक ध्रुव (समजा उत्तर) ठेवा व तो चुंबक--पट्टीवरून एका टोंकापासून दुसऱ्या टोंकापर्यंत ओढत न्या. दुसऱ्या टोंकापर्यंत गेल्यावर चुंबक वर उचला, पुनः पहिल्या

टोंकावर ठेवा व दुसऱ्या टोंकाकडे ओढत न्या. हीच कृति १०।१२ वेळां करा. टोंकाची जागा न बदलतां पट्टीची खालची बाजू वर आणा व पुनः तीच कृति १०।१२ वेळां करा. पट्टीच्या ज्या टोंकापासून चुंबक ओढण्यास सुरवात केली असेल त्या टोंकावर खूण करा. लोहकण व चुंबक-सुई यांच्या सहाय्यानें परीक्षण पट्टीचें करा. खूण केलेल्या टोंकाजवळ उत्तर ध्रुवनिर्माण झाला असून दुसऱ्या टोंकाजवळ दक्षिण ध्रुव उत्पन्न झालेला आहे असें दिसेल.

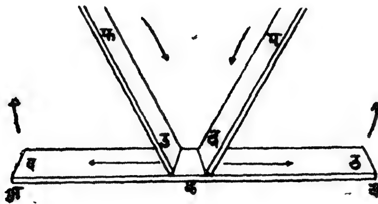


आकृति ८१

चुंबकाचा उत्तर धृव पट्टीवरून ओढत असतां पट्टीतील अणुचुंबकांचे विजातीय दक्षिण धृव तो आपल्याकडे ओढतो व सजातीय उत्तर ध्रुव प्रतिसारतो म्हणून पट्टीच्या ज्या टोंकापासून चुंबक घासण्यास सुरवात केली असेल त्या टोंकाकडे अणुचुंबकाचे उत्तर धृव व ज्या टोंकाजवळ घासण्याची क्रिया पूर्ण होते त्या टोंकाकडे दक्षिण ध्रुव वळतात. अशा रीतीनें अणुचुंबकांची मांडणी झाल्यामुळें पट्टींत चुंबकत्व येते.

रीत २ री. भाग स्पर्श पद्धति Divided touch

प्रयोग ९२—'अब' ही पोलादी पट्टी टेबलावर ठेऊन तिच्या मध्यभागीं 'फ' व 'प' या दोन चुंबकांचे विरुद्ध ध्रुव ठेवा. एकाच वेळीं दोन्ही चुंबक दोन टोंकांकडे ओढा व टोंकाशीं येतांच उचलून पुन:पूर्वठिकाणीं ठेवा. हीच कृति १०।१२ वेळा करा. पोलादी पट्टी तिच्या टोकांची जागा न बदलतां पालथी करा व वरील कृति पुन: १०।१२ वेळा करा. पट्टीचें परीक्षण करा. पट्टी चुंबक झाली असून तिच्या 'अ' टोंकांत दक्षिण ध्रुव व 'ब' टोकांत उत्तर ध्रुव उत्पन्न झाला आहे असें दिसेल.

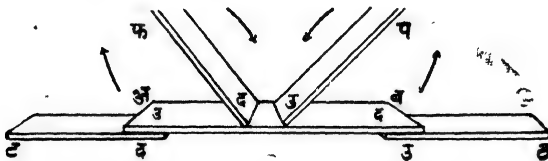


आकृति ८२

'प' हा चुंबक पट्टीवरून 'क' पासून 'ब' कडे ओढला असतां पट्टीतील अणुचुंबकाचीं उत्तर टोकें आपल्याकडे म्हणजे 'ब' कडे व दक्षिण टोकें क कडे वळवील; त्याचप्रमाणें 'फ' चुंबक अणुचुंबकांची उत्तर टोकें 'क' कडे म्हणजे 'ब' कडे आणि दक्षिण टोके 'अ' कडे वळवील अशा रीतीनें पट्टीतील सर्व अणु चुंबकांची उत्तर टोकें 'ब' कडे व दक्षिण टोकें 'अ' कडे वळविली जातील. या रचनेमुळें पट्टींत चुंबकत्व येईल.

रीत ३ री. जोड स्पर्श पद्धति Double touch

प्रयोग ९३— 'ट' आणि 'ठ' हे चुंबक त्यांचे विरुद्ध ध्रुव एकमेकांसमोर करूनसरळ रेषेंत ठेवा. त्यांच्या विरुद्ध धृवावर 'अब' या पोलादी पट्टीचीं टोकें ठेवा. तिच्या मध्यभागीं 'प' आणि 'फ' या दोन चुंबकाचे विरुद्ध ध्रुव आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें ठेवा. या प्रमाणें व्यवस्था केल्यास एकाच बाजूस असलेल्या 'प' आणि 'ठ' ह्या चुंबकांचे अथवा 'फ' आणि 'ट' या चंबकांचे सजातीय ध्रुव पट्टीस चिकटलेले राहातील.



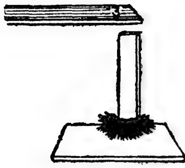
आकृति ८३

वरील प्रयोगात सांगितल्याप्रमाणें 'प' आणि 'फ' हे चुंबक पट्टी-वरून फिरवा म्हणजे पट्टी चुंबक बनेल व 'अ' टोंकांत उत्तरदर्शी व 'ब' टोकांत दक्षिणदर्शी ध्रुव निर्माण होईल.

'ट' आणि 'फ' हे चुंबक पट्टींतील अणुचुंबकाचे उत्तर ध्रुव 'अ' कडे व दक्षिण ध्रुव 'ब' कडे वळवितील. 'प' आणि 'ठ' हे चुंबक देखील त्याचप्रमाणें कार्य करतील. अशा रीतीनें पट्टीतींल सर्व अणुचुंबकांचे उत्तर ध्रुव 'अ' कडे व दक्षिण ध्रुव 'ब' कडे वळविले जातील व या रचनेमुळें पट्टींत चंबकत्व येईल.

प्रयोग९४ —एक लोखंडी पट्टी घेऊन तिच्या टोंकास लोखंडाचा कीस चिकटतो का पाहा. तो चिटकत नाहीं असें दिसेल. लोखंडी पट्टीचे

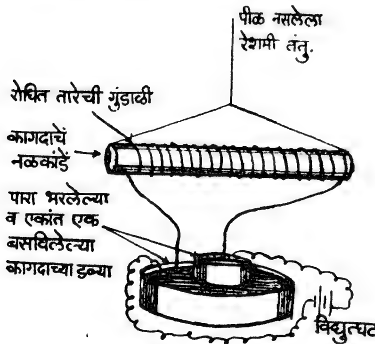
एका टोंकाजवळ प्रबळ चुंबक आणा. दुसरें टोंक लोखंडाच्या किसास लावून किंचित् वर उचला व त्यास कीस चिकटतो किंवा नाहीं तें पाहा. यावेळीं त्या पट्टीच्या टोंकास कीस चिकटलेला दिसेल. हाच प्रयोग पोलादी पट्टी घेऊन करा. दोन्ही पट्ट्यांचे बाबतींत एकच अनुभव येईल. यावरून चुंबकीय पदार्थांच्या पट्ट्या चुंबकाचे जवळ ठेवल्यानें त्याच्यांत चुंबकत्व येतें असें दिसतें.



आकृति ८४

प्रयोग ९५—जिच्यांतून विद्युत्प्रवाह वाहात आहे अशा तारेच्या गुंडाळीचें एकच टोंक चुंबकसुईच्या दोन्ही टोंकाजवळ क्रमाक्रमानें आणा. गुंडाळी जवळ आणली असतां सुईचें एक टोंक आकर्षिलें जातें व दुसरें प्रतिसारिलें जातें असें दिसेल. म्हणजे प्रवाहवाही तारेची गुंडाळीहि एक प्रकारचा चुंबक आहे असें दिसेल.

प्रयोग ९६—जिच्यांतून विद्युत्प्रवाह वाहत आहे अशी तारेची गुंडाळी क्षितिज समांतर पातळींत मोकळी फिरेल अशा रीतीनें बिन-पिळाच्या रेशमी धाग्यानें आधारावर टांगा व स्थिर होऊं द्या. गुंडाळीचा आंस उत्तर-दक्षिण राहील अशा रीतीनें ती स्थिर होतें असें दिसेल. तिला स्थिर स्थितींतून हलवा व पुनः स्थिर होऊं द्या. तिचा आंस पुनः उत्तर-दक्षिणच रहातो असें दिसेल.



आकृति ८५

वरील दोन्हीं प्रयोगांवरून असें दिसून येईल कीं ज्या तारेच्या गुंडाळीं-तून प्रवाह वाहात असतो ती गुंडाळी एक प्रकारचा चुंबकच असते.

रीत ४ थी, प्रयोग ९७–एका पोलादी पट्टीभोंवतीं रोधित तार गुंडाळा.



तारेंतून विद्युत्प्रवाह जाऊं द्या. कांहीं वेळानें पोलादी पट्टी तारेच्या गुंडाळींतून बाहेर काढा व तिचे लोखंडाचा कीस व चुंबक सुई यांच्या सहाय्यानें परीक्षण करा. पोलादी पट्टींत चुंबकत्व आलें आहे असें आढळेल.

ज्या तारेच्या गुंडाळींतून प्रवाह वाहतो ती जवळ ठेवल्यानें पट्टींत चुंबकत्व येतें.

प्रबल चुंबक तयार करण्याकरितां नेहमीं याच पद्धतीचा उपयोग करतात.

आ. ८६

दोषिक ध्रुव (Consequent Poles).

प्रयोग ९८—विणण्याची सुई टेबलावर ठेवा. तिच्या मध्यापासून प्रबल चुंबकाचा उत्तर धृव एक स्पर्श पद्धतींत सांगितल्याप्रमाणें एका टोंकाकडे १०।१२ वेळ ओढा. नंतर तोच धृव सुईवरून तिच्या मध्यापासून दुसऱ्या टोंकाकडे १०-१२ वेळ घांसत न्या. सुई लोखंडी किसात ठेवून बाहेर काढा. लोखंडी कण फक्त तिच्या टोंकासच चिकटतात किंवा आणखीहि काहीं ठिकाणीं चिकटतात तें पाहा. ज्या भागास लोखंडी कण चिकटत असतील ते भाग चुंबक सुईच्या दोन्हीं टोंकाजवळ नेऊन तेंथें असणारे धृव कोणत्या प्रकारचे आहेत तें पाहा.

तुम्हांस असें आढळून येईल कीं, लोखंडी कण आतां फक्त सुईच्या टोंकासच चिकटत नसून ते सुईच्या मध्यभागींहि चिकटतात व सुईत तिच्या दोन्ही टोंकांजवळ दक्षिणदर्शी धृव व मध्यभागीं उत्तरदर्शी धृव याप्रमाणें धृव उत्पन्न झालेले असतात.

याप्रमाणें चुंबकत्व आणण्याच्या दोषिक पद्धतीनें जे धृव निर्माण होतात त्यांस Consequent Poles' '**दोषिक ध्रुव**' असें म्हणतात.

प्रश्नसंग्रह १० वा.

१ चुम्बकाचे मुख्य गुणधर्म सांगा.

२ गंधकाची भुकटी व लोखंडी कीस यांचें मिश्रण दिलें असतां त्यांतून

लोखंडी कसा वेगळा कराल? लोखंडी कीस व पोलादी कण एकत्र झाले असतां ते कण चुम्बकाचे सहाय्यानें वेगवेगळे करतां येतील का?

३ चुंबकीय व अचुम्बकीय पदार्थ म्हणजे काय? अचुंबकीय पदार्थांत चुंबकत्व आणतां येतें कां?

४ चुंबक तयार करण्याच्या निरनिराळ्या रीती लिहा.

५ चुम्बकास विचुम्बक (Demagnetise) करण्याच्या रीती लिहा.

६ चुंबकत्वाची अणुमय कल्पना मान्य करण्याचीं निरनिराळीं कारणें द्या.

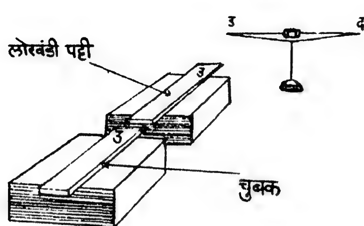
७ चुंबक पट्टीचे उत्तर ध्रुवाचे सहाय्यानें सुईच्या नेढ्यांत उत्तर ध्रुव उत्पन्न होईल अशा रीतीनें चुंबकत्व आणावयाचे झाल्यास चुबक पट्टी सुईवरून कोणच्या टोंकाकडून कोणच्या टोंकाकडे घासत न्याल?

८ एकसारख्या दिसणाऱ्या सारख्याच आकाराच्या पट्ट्या तुम्हांस दिल्या आहेत. त्या पट्ट्यापैकीं एक चुबकपट्टी आहे. त्या दोहोंपैकीं कोणची पट्टी चुंबक आहे हें इतर कोणत्याहि साधनाचा उपयोग न करतां कसें ठरवाल?

प्रकरण ११ वें.

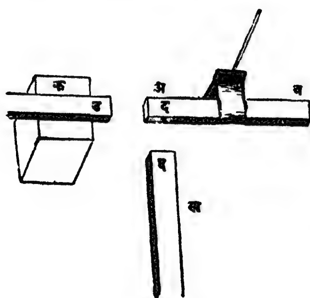
चुंबकीय प्रवर्तन (Magnetic Induction.)

प्रयोग ९९—एका चौकोनी लांकडी टोकळ्यावर एक प्रबल चुंबक पूर्वपश्चिम ठेवा. चुंबकाच्या पातळींत, व त्याच्या सरळ रेषेंत त्यास न चिकटतां त्याच्या उत्तर ध्रुवापासून सुमारें १ सें.मि. अंतरावर दुसऱ्या लांकडी टोकळ्यावर एक नरम लोखंडी पट्टी ठेवा. थोडासा लोखंडाचा कीस एका कागदाच्या डबींत ठेवून पट्टीच्या टोंकाखालीं आणा. अथवा चुंबक कांट्याचा उत्तर ध्रुव पट्टीच्या टोंकाजवळ आणा. लोखंडाचा कीस पट्टीच्या टोंकास चिकटतो व चुंबक कांटा दूर ढकलला जातो असें दिसेल. चुम्बक लोखंडी पट्टीपासून दूर करा. पट्टीच्या टोंकास चिकटलेला लोखंडाचा कीस तसाच चिकटून राहतो का अथवा विचलित चुंबक कांटा तसाच राहतो कां पाहा. कीस चिकटून न रहातां गळून पडतो, व चुंबक कांटा पुनः उत्तर-दक्षिण दिशेनें स्थिर होतो असें दिसेल.



आकृति ८७

प्र. १००—क्षितिज समांतर पातळींत मोकळी फिरेल अशा रीतीनें बिनापिळाच्या धाग्यानें लांकडी आधारावर 'अ ब' ही लोखंडी पट्टी टांगा. 'अ ब'च्या सरळ रेषेंत व तिच्या पातळींत तिच्यापासून सुमारें १ सें.मि. अंतरावर 'क' या चुंबकाचा उत्तर ध्रुव राहील अशा रीतीनें एक प्रबल चुंबक लांकडी आधारावर ठेवा. अ आणि ब टोंकांजवळ क्रमा क्रमानें 'ख' चुम्बकाचा दक्षिण ध्रुव आणा. 'क'



आकृति ८८

चुम्बकाचा दक्षिण ध्रुव पट्टीजवळ ठेवून 'ख' चुंबकाचा उत्तर ध्रुव 'अ' आणि 'ब' टोंकाजवळ आणा. 'क' चुंबक अजिबात काढून घेऊन 'ख' चुंबकाचे उत्तर आणि दक्षिण ध्रुव 'अ' आणि 'ब' टोंकांजवळ आणा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

ठोकळयावर ठेवलेल्या 'क' चुम्बकाचा ध्रुव	जवळ आणलेल्या 'ख' चुम्बकाचा ध्रुव	निरीक्षण
उत्तर ध्रुव	'अ' जवळ दक्षिण	प्रतिसारण
,, ,,	'ब' जवळ दक्षिण	आकर्षण
दक्षिण ध्रुव	'अ' जवळ उत्तर	प्रतिसारण
,, ,,	'ब' जवळ उत्तर	आकर्षण
क जवळ नसतां	'अ' जवळ दक्षिण अथवा उत्तर	,,
,, ,,	'ब' जवळ दक्षिण अथवा उत्तर	,,

वरील निरीक्षणावरून असें दिसून येईल कीं

१ लोखंडी पट्टीचे जवळ चुंबक असतां तिच्यांत चुंबकत्व येतें व तो दूर करतांच तिच्यांतील चुंबकत्व नाहींसें होतें.

२ चुंबकाच्या जवळ असलेल्या पट्टीच्या टोंकांत विजातीय चुंबकत्व उत्पन्न होतें.

३ चुंबकापासून दूर असलेल्या टोंकांत सजातीय चुंबकत्व उत्पन्न होतें.

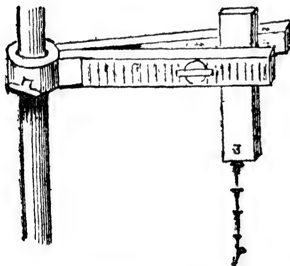
अशा प्रकारें जें चुंबकत्व केवळ चुंबक जवळ असतां उत्पन्न होतें व तो दूर केला असतां नाहींसें होतें त्यास **सान्निध्यजनित** अथवा **प्रवर्तित चुंबकत्व** (Induced Magnetism), व ज्या रीतीनें हें चुंबकत्व येतें त्या रीतीस **सान्निध्यजनन** अथवा **प्रवर्तन** (Induction) म्हणतात.

चुंबकाकडे लोखंड कां ओढले जाते.

चुंबकाकडे लोखंडी खिळा अथवा चुंबकीय पदार्थ कां आकर्षिला जातो याचें कारण चुंबकीय प्रवर्तन हें आहे. लोखंडी खिळयांत अथवा चुंबकीय पदार्थांत पहिल्यानें प्रवर्तनानें चुंबकत्व येतें. त्याच्या चुंबकाजवळील टोंकांत विजातीय (चुंबक) ध्रुव व दूरचे टोंकांत सजातीय ध्रुव उत्पन्न होतो. जवळ असलेल्या विजातीय ध्रुवावरील आकर्षण शक्ति (तो जवळ असल्यानें) दूर असलेल्या विजातीय ध्रुवावरील प्रतिसारण शक्तीपेक्षां जास्त असते, म्हणून लोखंडी खिळा अथवा चुंबकीय पदार्थ चुंबकाकडे ओढला जातो.

उपप्रवर्तन (Secondary Induction).

प्रयोग १०१:–एकालांकडी पकडींत एक प्रबळ चुंबक उभा धरा. त्याच्या खालच्या अंगास कोणता ध्रुव आहे तें पाहा. याच्या खालच्या टोंकास एक लांब खिळा चिकटवा. खिळयाच्या खालच्या टोंकास दुसरा खिळा चिकटतो का पाहा. याप्रमाणें जास्तींत जास्त खिळे चिकटवून खिळयांची माळ तयार करा. माळेच्या खालच्या टोंकात कोणती ध्रुवशक्ति आहे. हें चुंबक–सुईच्या सहाय्यानें तपासून पहा. प्रवर्तक चुंबकाच्या खालच्या टोंकांत असलेली ध्रुवशक्ति व ही शक्ति या दोन्ही एकाच प्रकारच्या अथवा सजातीय आहेत असें आढळून येईल.

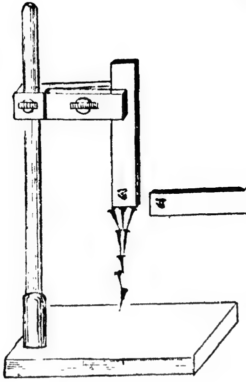


आकृति ८९

माळेंतील प्रत्येक खिळा प्रवर्तनानें क्षणिक चुंबक बनतो व तो त्याच्या खालच्या खिळयांत प्रवर्तनानें चुंबकत्व आणतो. प्रवर्तनानें चुंबक झालेला एक खिळा जेव्हां दुसऱ्या खिळयावर प्रवर्तन कार्य करतो, तेव्हां त्या प्रवर्तनास **उपप्रवर्तन** (Secondary Induction) असें म्हणतात.

दोन चुंबकांची सहाय्यक मांडणी (Two magnets in conjunction)

प्रयोग १०२:—मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें चुंबकाचा उत्तर ध्रुव खालीं करून त्याला लहान लहान तार खिळे चिकटवून माळ तयार करा. चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाजवळ दुसऱ्या चुंबकाचा उत्तर ध्रुव ठेवा व माळेस अधिक खिळे जोडतां येतात का पहा. तसेंच माळेच्या टोंकाखालीं कांहीं अंतरावर दुसऱ्या चुंबकाचा दक्षिण ध्रुव ठेवा व माळेची लांबी वाढवितां येते का पाहा. दोन्ही वेळां माळेची लांबी अधिक खिळे जोडून वाढवितां येते असें दिसेल.

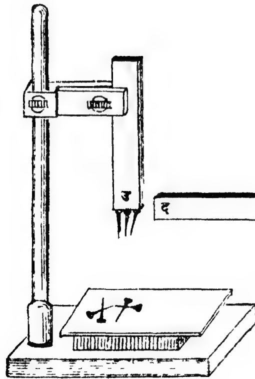


आकृति ९०

या वेळीं दोन्ही चुंबक, खिळयांच्या टोंकांत एकाच प्रकारचें चुंबकत्व प्रवर्तित करीत असल्यानें ते एकमेकास सहाय्यक होतात.

दोन चुंबकांची विघातक मांडणी (Two magnets in opposition)

मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें चुंबकाचा उत्तर ध्रुव खालीं करून खिळयाची माळ तयार करा. चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाजवळ दुसऱ्या चुंबकाचा दक्षिण ध्रुव आणा. खिळयांच्या माळेवर काय परिणाम होतो तो पाहा. त्याचप्रमाणें माळेच्या खालच्या टोंकाखालीं कांहीं अंतरावर दुसऱ्या चुंबकाचा उत्तर ध्रुव ठेवून माळेवर काय परिणाम होतो तो पाहा. दोन्ही वेळां माळेंतील कांहीं खिळे गळून पडतात व माळेची लांबी कमी होते असें दिसेल.



आकृति ९१

या वेळीं हे दोन्ही चुंबक खिळयांच्या टोंकांत विरुद्ध प्रकारचें चुंबकत्व प्रवर्तित करीत असल्यानें ते एकमेकांस विघातक होतात.

सजातीय प्रवर्तित चुंबक ध्रुवांचें प्रतिसारण.

प्रयोग १०३:—प्रबळ चुंबक उभा धरून त्याच्या खालच्या टोंकास



१०/१२ शिवण्याच्या सुया चिकटवा. सुयांचीं खालचीं टोंकें एकमेकांस चिकटून आहेत किंवा एकमेकांपासून दूर आहेत तें पाहा. तीं दूर आहेत असें दिसेल. त्यांस जवळ आणण्याचा प्रयत्न करा. तीं जवळ आणून सोडल्यास पुनः एकमेकांपासून दूर होतात असें दिसेल. यावरून सजातीय प्रवर्तित चुंबकध्रुव एकमेकांस प्रतिसारतात असें दिसेल.

प्रवर्तक (Inductors).

प्रयोग १०४:—चुंबक—सुईपेक्षां थोडा मोठा व्यास असलेली आ. ९२ कागदाची गोल चकती घ्या. तिच्या परिघावर अंशाच्या खुणा करा. ही चकती एका बुचावर ठेवा. हिच्या मध्यांतून एक अत्यंत लहान सुई तिचें टोंक वर राहील अशा रीतीनें बुचांत टोंचा. या सुईच्या अग्रावर एक चुंबक—सुई ठेवा. चुंबक—सुई स्थिर झाल्यावर चकतीच्या परिघावरील शुन्याची खूण तिच्या एका टोंकाखालीं येईतों बूच फिरवा. चुंबक सुईच्या पातळींत पूर्व पश्चिम एक चुंबक ठेवा. चुंबक सुईचें थोडें विचलन होई तों, चुंबक, सुईचे जवळ आणा. सुईचें विचलन किती अंश होतें तें पहा. चुंबक व चुंबक सुई यांचे मध्यें एक नरम लोखंडीपट्टी धरा व विचलन पूर्वीइतकेंच होतें का पाहा. नरम लोखंडी पट्टीऐवजीं तेवढयाच लांबीची पोलादी पट्टी त्याच जागीं ठेवा. सुईचे विचलनांत कांहीं फरक होतो का पाहा.

वरील प्रयोगांवरून असें दिसून येईल कीं चुंबक व चुम्बकसुई यांचे मध्यें कांहींहि नसतांना सुईचें जितकें विचलन होतें त्यापेक्षां तें (विचलन) त्या दोहोंमध्यें पोलादी पट्टी असतांना अधिक होतें व दोहोंत नरम लोखंडी पट्टी ठेविली असतांना तें (विचलन) सर्वांत जास्त होतें.

चुंबक व चुंबक सुई यांचेमध्यें नरम लोखंडीं पट्टी ठेवली असतां होणारें विचलन	>	चुंबक व चुंबक सुई यांचेमध्यें पोलादी पट्टी ठेवली असतां होणारें विचलन	>	चुंबक व चुंबक–सुई यांच्यामध्यें कांहींनसतां होणारें विचलन

अथवा लोखंड व पोलाद हीं हवेपेक्षां चांगली **प्रवर्तक** Inductors आहेत, पण लोखंड व पोलाद या दोहोंत लोखंड चांगले प्रवर्तक आहे.

चुंबकत्वाची संग्राह्यता व चुंबकत्व वाहक शक्ति (Retentivity and permeability).

प्रयोग १०५:–एका लांकडी पकडींत एक नरम लोखंडाची पट्टीं धरा. तिच्या वरच्या अंगास प्रबल चुंबकाचा उत्तर ध्रुव लावून ठेवा. पट्टीचे खालचे टोंकास खिळे चिकटवून माळ तयार करा. माळेंत जास्तींत जास्त किती खिळें असूं शकतात तें पाहा. माळेस धक्का लागूं न देतां चुंबक हळूच काढून घ्या व पट्टीस किती खिळे चिकटून राहतात तें पाहा. ते सर्व खिळे लवकरच गळून पडतात असें दिसेल. लोखंडी पट्टींत प्रवर्तित झालेलें चुंबकत्व ताबडतोब नाहींसें होतें.

लोखंडी पट्टीच्या ऐवजीं तेवढ्याच लांबीची पोलादी पट्टी ठेऊन प्रयोग करा. माळेंत पूर्वीइतकेच खिळे असूं शकतात का पाहा. तसेंच चुम्बक काढून घेतल्यावर पूर्वीप्रमाणें सर्व खिळे गळून पडतात का तेंहि पाहा. यावेळीं पूर्वीइतके खिळे चिकटत नाहींत व पूर्वीसारखे चुंबक काढतांच ते गळूनहि पडत नाहींत, ते त्यास तसेच चिकटून राहतात, असें आढळेल. यावरून पोलादी पट्टींत लोखंडीपट्टी इतके चुंबकत्व येत नाही व प्रवर्तित झालेलें चुंबकत्व लवकर नाहींसें होत नाहीं. तिच्यांतील चुम्बकत्व काढून टाकण्याकरतां तिला तापवावें लागतें किंवा हातोडीनें ठोकावें लागतें. ज्या चुंबकीय शक्तीमुळें चुंबकत्व येतें ती दूर केल्यावरहि पोलादासारखे कांहीं पदार्थ तें चुंबकत्व राखून ठेवतात. या त्यांच्या गुणधर्मास **चुंबकत्व संग्राह्यता** (Retentivity) असें म्हणतात. लोखंडा सारख्या ज्या पदार्थांत प्रबल चुंबकाच्या सान्निध्यानें प्रबल चुंबकत्व येतें त्या पदार्थाच्या अंगीं

असणाऱ्या या गुणधर्मास चुंबकत्व वाहकशक्ति (Permeability) म्हणतात.

चुबक रक्षक (Magnetic keepers)

चुवक पट्टींतील चुंबकत्व त्या पट्टींतील अणुचुंबकांच्या रचनेवर अवलंबून असतें, ही गोष्ट मागें स्पष्टपणें दाखविलीच आहे. चुंबक पट्टीस आदळआपट केली असतां अथवां तिला तापविलें असतां तिच्यातील अणूंची रचना बदलते. हा परिणाम चुंबकपट्टीच्या टोंकांकडे विशेष होतो. कारण टोंकाकडे असणाऱ्या अणुचुंबकास त्याच स्थितींत ठेवण्यास लागणारे अणुचुंबक त्याचेजवळ नसतात. अशा रीतीनें पट्टींतील चुंबकत्व अंशतः अथवा पूर्णतः नाहींसें होण्याचा संभव असतो. चुंबक पट्टींतील चुंबकत्व जाऊं नये म्हणून आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दोन चुंबक पट्टयांचे विरुद्ध ध्रुव एका बाजूस आणून त्यांचेमध्यें एक लांकडी गज ठेवतात. व त्यांचीं टोंकें पूर्ण पणें आच्छादिलीं जातील अशा रीतीनें दोन नरम लोखडी पट्टया ठेवतात. नालाकार चुंबक असल्यास त्याचीं टोंकें पूर्णपणें झांकलीं जातीलअशी नरम पट्टी ठेवतात.



आकृति ९३

लांकडी गजामुळें चुंबक पट्टया एकमेकांवर आपटल्या जाण्याचा संभव कमी होतो व त्यामुळें त्यांच्यांतील चुंबकत्व नाहींसें होण्याचा संभवहि कमी होतो.



आकृति ९४

चुंबक रक्षकांचें कार्यः—

'अ' या चुंबकाच्या उत्तर टोंकाजवळ असणाऱ्या 'ब' या नरम लोखंडी पट्टीच्या टोंकांत प्रवर्तनानें दक्षिण ध्रुव व दूरच्या टोंकांत उत्तर ध्रुव उत्पन्न होतो. याच प्रकारचें कार्य 'क' चुंबकहि 'ब' पट्टीवर करतो म्हणजे 'अ' आणि 'क' चुंबकाचें 'उ' आणि 'द' ध्रुव प्रवर्तन कार्यांत एकमेकांस मदत करतात. म्हणून 'ब' पट्टींतील प्रवर्तित चुंबकत्वाचें प्रमाण वाढते व ती अधिक कार्यक्षम होते. 'ब' पट्टीचा प्रवर्तित उत्तर ध्रुव

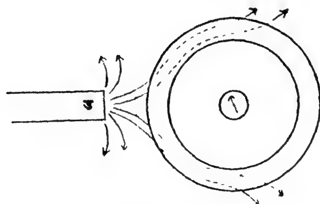
त्याचेजवळ असणाऱ्या 'क' चुंबकाच्या टोंकांत दक्षिण ध्रुव-म्हणजे ज्या प्रकारचा क चुंबकाचा ध्रुव असेल त्याच प्रकारचा ध्रुव प्रवर्तित करतो. असेंच कार्य 'क' चुंबकहि 'ब' पट्टीचे सहाय्यानें 'अ' चुंबकावर करतो. अशा रीतीनें 'ब' या पट्टीमुळें दोन्हीं चुंबकांतील चुंबकत्व कमी होत नाहीं. याकरितां 'ब' व 'ड' या नरम लोखंडाच्या पट्टयांस **चुंबकरक्षक** Magnetic keepers असें म्हणतात.

अथवा,

चुंबकाच्या विरूद्ध टोंकास नरम लोखंडी पट्टी लावल्यानें ती पट्टी चुंबक होते व त्यामुळें चुंबक व लोखंडी पट्टी यांतील अणुचुंबकांची एक अखंड मालिका (endless chain) तयार होते. या माळेस मोकळीं टोंकें नसल्यानें प्रत्येक अणुचुंबकास त्याच स्थितींत ठेवणारे अणुचुंबक त्याचे जवळच असतात व त्यामुळें या माळेंतील अणुचुंबकांची रचना बदलत नाहीं. म्हणजे चुंबक पट्टयांतील चुंबकत्व नाहींसें होत नाहीं.

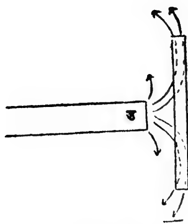
चुंबक प्रभाव विच्छेदन (Magnetic Screening).

प्रयोग १०६—एक नरम लोखंडी कडी घेऊन तिच्या मध्यभागीं एक



आकृति ९५

लहान चुंबक कांटा ठेवा. प्रबल चुंबक ध्रुव कडीजवळ आणा व चुंबक कांट्यावर कांहीं परिणाम होतो का पाहा तसेंच चुंबक कांट्यापुढें एक नरम लोखंडाच्या पडद्यासारखा पडदा उभा करा व त्याच्या दुसऱ्या अंगास प्रबल चुंबक आणा चुंबक काट्यावर कांहीं परिणाम होतो का पाहा. दोन्हीवेळीं चुंबक कांट्यावर चुंबकाचा कांहींच परिणाम होत नाहीं असें दिसेल.



आकृति ९६

यावरून चुंबक काटा व चुंबक यांच्यामध्यें नरम लोखंडी पत्रा ठेविला असतां अथवा चुंबक कांटा लोखंडी कडींत ठेवली असतां चुंबकाचा कांट्या वर कांहींच परिणाम होत नाहीं असें दिसेल.

प्रश्नसंग्रह ११ वा.

१ चुंबक प्रवर्तन म्हणजे काय? लोखंडी खिळा चुंबकाकडे कां ओढला जातो?

२ चुंबकत्व नसलेल्या लोखंडी व पोलादी दोन सारख्या पट्टयांचे जवळ चुंबक आणला असतां कोणची पट्टी अधिक आकर्षिली जाईल व ती कां?

३ उपप्रवर्तन म्हणजे काय? दोन चुंबक एकमेकांस विघातक करण्याकरितां कसे ठेवावेत? ते तसें ठेविले असतां एकमेकास विघातक होतात हें सिद्ध करण्याकरितां प्रयोग द्या.

४ एका चुंबकाच्या टोंकास एका मुलानें पुष्कळ सुया चिकटविल्या आहेत. त्यांचीं खालचीं टोंकें एकत्र आणण्याचा प्रयत्न करूनहि त्याला यश येत नाहीं याचें कारण काय?

५ प्रवर्तक Inductors म्हणजे काय? लोखंड व पोलाद यांच्यापैकीं कोणचा पदार्थ चांगला प्रवर्तक आहे?

६ Retentivity (चुंबकत्व संग्राह्यता) व Permeability चुंबकत्व वाहक शक्ति म्हणजे काय? लोखंड व पोलाद यांच्यापैकीं कोणांत अधिक संग्राह्यता आहे व कोणांत अधिक चुंबकत्व वाहक शक्ति (Permeability) आहे?

७ चुंबक रक्षक तयार करण्याकरितां पोलादी पट्टी व लोखंडी पट्टी यांपैकीं तुम्हीं कोणती पसंत कराल व ती कां हें नीट समजावून सांगा.

८ चुंबक रक्षाकांचे कार्य नीट समजावून सांगा.

९ चुंबक कांट्याच्या उत्तर ध्रुवाजवळ प्रबल चुंबकाचा उत्तर ध्रुव एकदम आणल्यास सुईचा उत्तर ध्रुव आकर्षिला जातो पण तोच ध्रुव त्याचेजवळ हळूहळू आणल्यास तो प्रतिसाराला जातो याचें कारण काय ?

१० टेबलाच्या कडेच्या पुढें आलेल्या चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवास एक नरम लोखंडी गोळा चिकटवून ठेवला आहे. दुसऱ्या चुंबकाचा दक्षिण ध्रुव (१) पहिल्या चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाचेवर आणि (२) गोळ्याचे खाली आणल्यास काय होईल, तें सकारण सांगा.

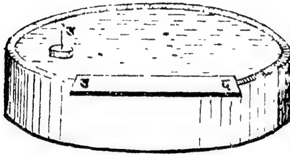
११ क्षीण चुंबकत्व असलेल्या चुंबक कांट्याचा उत्तर ध्रुव त्याच्यापासून कांहीं अंतरावर असलेल्या प्रबल चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवामुळें प्रतिसारला जातो, पण तोच प्रबल चुंबकाचा उत्तर ध्रुव एकदम कांट्याजवळ आणल्यास कांट्याचा उत्तरध्रुव आकर्षिला जातो तें कां ?

प्रकरण १२ वें.

चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field)

मागील प्रकरणांत आपण असें पाहिलें आहे कीं दिलेल्या चुंबकाजवळ चुंबक कांटा अथवा लोखंडी कण ठेवले तर त्यांची हालचाल एका विवक्षित प्रकारें होतें. ही हालचाल अशा रीतीनें होण्यास त्यांचेवर दिलेल्या चुंबकाची चुंबकशक्ति कार्य करीत असली पाहिजे. म्हणजे दिलेल्या चुंबकाभोंवतीं असलेल्या काहीं भागांवर (region) त्या चुंबकाची चुंबक-शक्ति कार्य करीत असते. चुंबकाचे भोंवतीं असलेल्या जेवढ्या भागावर त्या चुंबकाची चुंबकशक्ति कार्य करते त्या भागास त्या चुंबकाचें **'चुंबकीय क्षेत्र'** (Magnetic Field) म्हणतात.

प्रयोग १०७:–प्रबल चुंबकत्व असलेली शिवणाची लांब सुई तिचा उत्तर ध्रुव वर राहील अशा रीतीनें बुचांत खोंचा. कांचेच्या पसरट भांड्यांत पाणी घेऊन सुईचा उत्तर ध्रुव वर राहील अशा रीतीनें बूच पाण्यांत तरंगत ठेवा. एक चुंबक पट्टी अथवा नालाकार चुंबक त्या भांड्यावर ठेवा. बूच पाण्यांत एकाच जागीं स्थिर राहातें कां पाहा, स्थिर राहात नसल्यास त्याला कोणत्या दिशेनें गति आहे तें पाहा. तें चुंबकाच्या उत्तरध्रुवाकडून दक्षिणध्रुवाकडे वक्रमार्गानें जातें असें दिसेल.



आकृति ९७

यावरून चुंबकाच्या उत्तर किंवा दक्षिण ध्रुवापैकीं कोणताहि एक ध्रुव–समजा उत्तर–ध्रुव वेगळा करता आला व असा वेगळा केलेला उत्तर ध्रुव जर चुंबकाच्या उत्तरध्रुवाजवळ आणला तर तो चुंबकाच्या उत्तरध्रुवापासून वक्रमार्गानें दक्षिणध्रुवाकडे जातो. सुईच्या उत्तरध्रुवावर चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाची प्रतिसारण क्रिया व दक्षिण ध्रुवाची आकर्षण क्रिया एकाच वेळीं होतात, तसेंच सुईच्या उत्तर ध्रुवाचे चुंबकाच्या ध्रुवांपासूनचें अंतर क्षणोक्षणीं बदलतें त्यामुळें त्यावर कार्य करणाऱ्या प्रतिसारण व आकर्षण शक्ती याहि

बदलतात. या कारणांमुळें सुईचा उत्तर ध्रुव चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाकडून दक्षिण ध्रुवाकडे वक्रमार्गानें जातो. या वक्र मार्गास **चुंबकीय बल रेषा** (Magnetic lines of force) असें म्हणतात. याप्रमाणें चुंबक क्षेत्रांत ठेवलेला एकाकी उत्तर ध्रुव ज्या दिशेनें जाईल ती बलरेषेची **धन दिशा** (positive direction) आहे असें म्हणतात. अत्यंत लहान चुंबक सुई चुबक क्षेत्रांत ठवली असता ज्या दिशेनें स्थिर होते ती दिशा त्या ठिकाणच्या बलरेषेची दिशा दाखविते व तिचें उत्तर टोंक तिची धनदिशा. दाखवितें.

लोखंडी कणांच्या सहाय्यानें चुंबकीय क्षेत्राचा नकाशा काढणें.

प्रयोग १०८:– एक प्रबल चुंबक पट्टी टेबलावर ठेवा. तिचेवर एक कांच ठेवा. कांचेवर कातच्या डबीनें अथवा बारीक फडक्यानें लोखंडाचा कीस पसरा. कांचेचीं चारही टोंकें घट्ट दाबून तीवर हळूहळू टिचक्या मारा, म्हणजे कांचेवर लोखंडीं कणांमुळें विशेष प्रकारच्या वक्र रेषा तयार झाल्या आहेत असें दिसेल.

लोखंडी कण चुंबकाचे जवळजवळ असल्यानें चुंबक बनतात. या लहान चुंबकावर चंबकांच्या दोन्ही ध्रुवांचें एकाच वेळीं कार्य होत असल्यानें या दोन्ही ध्रुवांची कारक शक्ति (resultant force) त्या ठिकाणीं ज्या दिशेनें कार्य करीत असते ती दिशा ते दर्शवितात; म्हणून त्याच्यामुळें जी रेषा तयार होते ती, त्या ठिकाणच्या बलरेषेचें चित्र असते. या रेषांमुळें चुंबकाभोंवतीं तयार झालेल्या चित्रास चुंबकीय क्षेत्राचा नकाशा असें म्हणतात.

चुंबक व त्याचे भोंवतीं असलेल्या वक्ररेषा यांचें चित्र आपल्या वहींत काढा. पुढील गोष्टींचें नीट निरीक्षण करा.

१ या रेषांचा आकार कसा आहे ?

२ त्यांपैकीं एखादी सरळ आहे का ?

६ सरळ असल्यास कोठें आहे ?

४ या रेषा एकमेकांस कोठें छेदतात कां ?

५ कोणत्या भागांत त्या एकमेकींच्या फारच जवळ आल्या आहेत ?

म्हणजे कोणच्या भागांत एकधेय क्षेत्रफळांत असणाऱ्या रेषांची संख्या सर्वांत जास्त आहे ?

६ कोणत्या भागांत त्या विरल झाल्या आहेत ? म्हणजे एकधेय क्षेत्र-फळांत असणाऱ्या रेषांची संख्या सर्वांत कमी आहे ?

लोखंडी कणांमुळें तयार झालेल्या नकाशावरून चुंबकीय क्षेत्रांतील निरनिराळ्या ठिकाणीं चुंबकाची चुंबकीय शक्ति किती आहे हें समजतें. ज्या भागांत बलरेषा फारच जवळजवळ आलेल्या असतात त्या भागांत चुंबकाची चुंबक शक्ति—महत्तम असते.

या रेषा एकमेकांस छेदूं शकत नाहींत. कारण एका बिंदूचे ठिकाणीं दिलेल्या चुंबकाची कारकशक्ति फक्त एकाच दिशेनें कार्य करूं शकते.

नालाकार चुंबकाच्या चुंबकक्षेत्राचा नकाशा काढणें.

प्रयोग १०९:—चुंबक पट्टीचे ऐवजीं नालाकार चुंबक घेऊन मागील प्रयोग पुन: करा. लोहकणांची रचना कशी होते तें. पाहा.

प्रयोग ११०:—नालाकार चुंबकाचे दोन्ही ध्रुव सांधणारी व त्याच्या ध्रुवाचे पृष्ठभाग पूर्णपणें झांकेल अशी नरम लोखंडी पट्टी त्याचे ध्रुवांस चिकटवून ठेवा. चुंबकावर पूर्ववत कांच ठेवून तीवर लोखंडाचा कीस पसरा. काचेवर टिचक्या मारून लोखंडी कणांची रचना कशी होतें तें पाहा.

या वेळच्या लोखंडी कणांच्या रचनेंत व मागील प्रयोगांतील कणांच्या रचनेंत कांहीं फरक आहे का याचें नीट निरीक्षण करा.

चुंबकाच्या धृवावर चुंबकरक्षक ठेवल्यानें चुंबक बलरेषा हवेंतून न जाता लोखंडी पट्टीतून जातात असें दिसेल कारण लोखंडाची **'चुंबकत्व' वाहकशक्ति** (permeability) हवेपेक्षां जास्त आहे अथवा चुंबकत्वाच्या वहनास विरोध करण्याची शक्ति (reluctanec) हवेंत लोखंडापेक्षां जास्त आहे.

खालीं लिहिल्याप्रमाणें दोन चुंबक पट्टया ठेवून मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें त्यांच्या चुंबकीय क्षेत्राचे नकाशे काढा.

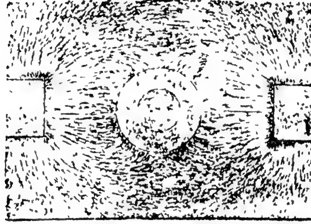
१ दोघांचे सजातीय ध्रुव एकाच बाजूला व पट्ट्या एकमेकांस समांतर.

२ दोघांचे विजातीय ध्रुव एकाच बाजूला व पट्ट्या एकमेकांस समांतर

३ दोघांचे विजातीय ध्रुव एकमेकांपासून २ इंच अंतरावर व पट्ट्या एकाच रेषेंत.

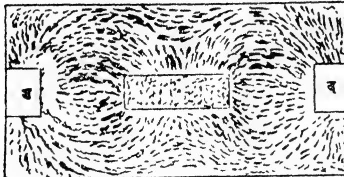
४ दोघांचे सजातीय ध्रुव एकमेकांजवळ व पट्ट्या एकाच रेषेंत.

५ दोघांच्या विजातीय ध्रुवामध्यें एक नरम लोखंडी कडी व चुंबक पट्ट्या एका रेषेंत.



आकृति ९८

६ दोन विजातीय ध्रुवांमध्यें एक नरम लोखंडी पट्टी व चुंबक पट्ट्या एकाच रेषेंत.



आकृति ९९

वरील सर्व प्रयोगांत जरी प्रत्येक लोखंडी कण प्रवर्तनानें चुंबक होत असला तरी कांचेचा पृष्ठभाग व लोखंडी कण यांचे मध्यें असणारें घर्षण त्यांच्या (लोखंडी कणांच्या) हालचालीस विरोध करते. हा विरोध टिचक्या मारण्यानें जरी कमी होत असला तरी तो अजिबात नाहींसा होत नाहीं व

म्हणून लोखंडी कण मोकळेपणानें फिरूं शकत नाहींत. ते मोकळेपणानें फिरूं शकत नसल्यानें चुंबकीय क्षेत्रांतील प्रत्येक बिंदूच्या ठिकाणीं असणाऱ्या कारक शक्तीची (resultant force) दिशा ते अगदीं बरोबर दाखवूं शकत नाहींत.

वर निर्दिष्ट केलेल्या कारणास्तव लोखंडी कणांमुळें तयार झालेल्या चुंबकीय क्षेत्राच्या नकाशांतील बलरेषा (lines of force) रेखीव व स्पष्ट असत नाहींत.

ही अडचण दूर व्हावी म्हणून व बलरेषा रेखीव व स्पष्ट असाव्या म्हणून प्रवर्तनानें चुंबक झालेल्या लोखंडी कणांचे ऐवजीं, कांचेचें बूड व झांकण असलेल्या लहान डबींत बसविलेल्या चुंबक कांट्याचा (Compass needle) उपयोग करतात.

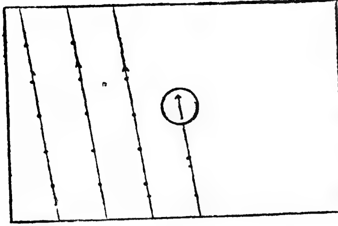
चुंबक कांटा उत्तर-दक्षिण कां स्थिर होतो.

क्षितिज समांतर पातळींत फिरण्यास मोकळया असणाऱ्या चुंबक काट्याच्या हालचालीचें निरीक्षण केल्यास असें आढळून येईल कीं तो इकडून तिकडे हेलकावे खात खात शेवटीं जवळ जवळ उत्तर दक्षिण दिशेनें स्थिर होतो. हीच गोष्ट पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर कांटा कोठेंहि ठेवला तरी दिसून येते. चुंबक कांटयाजवळ या वेळीं दुसरा कोणताहि चुंबक अथवा चुंबकीय पदार्थ नसल्यानें त्या कांटयावर कार्य करणारी शक्ती पृथ्वींतच असली पाहिजे म्हणजे पृथ्वी ही स्वतःच चुंबक असून तिचें स्वतःचें चुंबकीय क्षेत्र असलें पाहिजे असें दिसतें.

चुंबक काटयाच्या साहाय्यानें भूचुंबकाच्या चुंबक क्षेत्राचा नकाशा काढणें.

प्रयोग १११ः– कागदाची एक कड साधारणतः उत्तर--दक्षिण राहील अशा रीतीनें एक कागद चित्रफलकावर टांचण्यांनीं घट्ट बसवा. कागदाच्या दक्षिणेकडे असणाऱ्या कडेवर एकेक इंच अंतरावर पेन्सिलीनें खुणा करा. कागदाच्या कडेवर केलेल्या खुणेपैकीं एका खुणेवर चुंबक काट्याचा दक्षिण ध्रुव येईल अशा रीतीनें चुंबक काटा कागदावर ठेवा त्याच्या उत्तर ध्रुवासमोर पेन्सिलीनें खूण करा. चुंबक कांटयाचा दक्षिण ध्रुव या नवीन खुणेवर येईल अशा रीतीने तो सरकवा व पूर्वीप्रमाणेंच त्याच्या उत्तर

ध्रुवासमोर खूण करा.कागदाच्या दुसऱ्या कडेपर्यंत जाईतों हीच कृति करा.

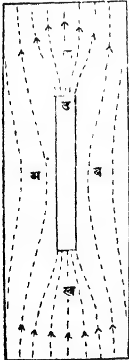


आकृति १००

कागदावर केलल्या खुणा अखंड (continuous) रेषेनें सांधा. याप्रमाणें कृति करून कागदाच्या कडेवर केलेल्या खुणांपासून रेषा काढा. या रेषा उत्तर–दक्षिण असून एकमेकांस समांतर आहेंत असें दिसेल; अथवा भूचुंबकाच्या बल रेषा उत्तर-दक्षिण असून (लहान पृष्ठभागांचाच विचार केल्यास) समांतर असतात.

वरील रीतीनें काढलेला नकाशा हा भू चुंबकाचा क्षितिज समांतर असणाऱ्या चुंबकीय क्षेत्राचा नकाशा असतो.

प्रयोग ११२:–एका चित्रफलकावर (Drawing Board) टाचण्यांच्या सहाय्यानें एक कागद घट्ट बसवा. त्याच्या मध्यभागीं एक चुंबक कांटा ठेवा. कागदाची एक कड चुंबक काट्यास समातर म्हणजे उत्तर–दक्षिण येण्याकरितां फलक फिरवा. चुंबक कांटा उचलून मुळींच चुंबकत्व नसलेली नरम लोखंडाची पट्टी कागदाच्या मधोमध उत्तर–दक्षिण ठेवा. मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें चुंबक काट्याच्या सहाय्यानें चुंबक क्षेत्राचा नकाशा काढा. लोखंडी पट्टीजवळील भागांत बल रेषा समांतर नसून लोखंडी पट्टीकडे आकर्षिल्या जातात असें दिसेल. ‘अ’ आणि ‘ब’ भागांत त्या विरल झाल्या असून ‘क’ आजि ‘ख’ भागांत त्यांची दाटण झाली आहे. म्हणजे ‘अ’ आणि ‘ब’ भागांत भू चुंबकाची चुंबकीय शक्ति कमी झाली असून ‘क’आणि ‘ख’ भागांत ती वाढली आहे. असें दिसेल.



आकृति १०१

पट्टी या स्थितींत असतां भू चुंबकाच्या प्रभावानें तिच्यांतील अणु चुंबकांची विशिष्ट प्रकारचीं रचना होते व तिच्यांत प्रवर्तनानें चुंबकत्व येतें व पट्टीच्या 'द' टोंकांत म्हणजे जेथें बलरेषा प्रवेश करतात तेथें दक्षिण ध्रुव व 'उ' टोंकांत उत्तर ध्रुव याप्रमाणें ध्रुव उत्पन्न होतात. ज्या अर्थी पट्टीच्या उत्तरेकडील टोंकांत उत्तर ध्रुव व दक्षिणेकडील टोंकांत दक्षिण ध्रुव भू-चुंबकामुळें प्रवर्तित होतात त्या अर्थी **पृथ्वीच्या उत्तर ध्रुवाकडे भूचूंबकाचा दक्षिण ध्रुव व दक्षिण ध्रुवाकडे भूचुंबकाचा उत्तर ध्रुव असला पाहिजे.**

चुंबकाचे जवळील कोणत्याहि बिंदूवर (१) चुंबकाची व (२) भू-चुंबकाचीं अशा दोन शक्ती एकाच वेळीं कार्य करीत असल्यानें त्या ठिकाणीं कार्य करणारी कारक शक्ति या दोन शक्तींची मिळून झालेली असते. यामुळें चुंबक काटयाच्या सहाय्यानें काढलेला चुंबकाच्या चुंबकीय क्षेत्राचा नकाशा, केवळ चुंबकाचा नसून, चुंबक व पृथ्वी यांच्या संयुक्त क्षेत्रांचा असतो.

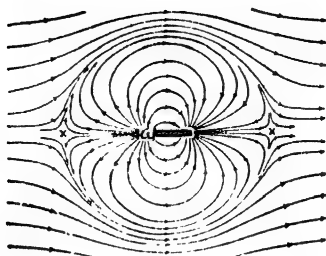
चुंबक व पृथ्वी यांच्या संयुक्त क्षेत्रांचे नकाशे काढणें.

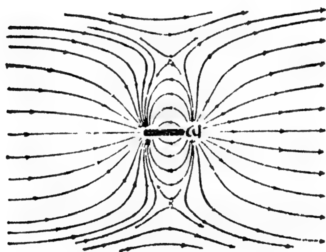
१ चुंबकाचा उत्तर धृव उत्तरेकडे ठेवून.

प्रयोग ११३:—एका फळयावर टांचण्याच्या साहाय्यानें साधारण मोठासा कागद त्याची एक कड उत्तर दक्षिण येईल अशा रीतीनें घट्ट बसवा. त्याच्या मधोमध चुंबक काटयाच्या सहाय्यानें बरोबर उत्तर—दक्षिण दिशा दर्शविणारी रेषा काढा. चुबक पट्टीचा उत्तर धृव उत्तरेकडे करून चुबक पट्टी या रेषेवर ठेवा. तिची रूपरेषा आंखून घ्या. कागदाच्या उत्तरेकडील कडेवर सुमारें एकेक सें. मी. अंतरावर खुणा करा. मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें चुंबकीय क्षेत्राचा नकाशा काढा.

चुबकाचे अगदीं जवळचे बिंदूवर पृथ्वीपेक्षां चुंबकाची शक्तीच अधिक परिणामकारक असते; पण जसजसें बिंदूचे चुंबकापासूनचें अंतर वाढत जाते तसतशीं चुंबकाची शक्ति क्षीण होत जाऊन, पृथ्वीची शक्ति वाढत जाते. यामुळें त्या क्षेत्रांत दोन बिंदू असें असतात कीं त्या ठिकाणीं या दोन्ही (चुंबकाची व पृथ्वीची) शक्ती एकमेकींचा पूर्णपणें नाश करितात. अशा टिकाणीं चुंबक काटयावर कोणतीहि शक्ति कार्य करीत नसल्यानें तो

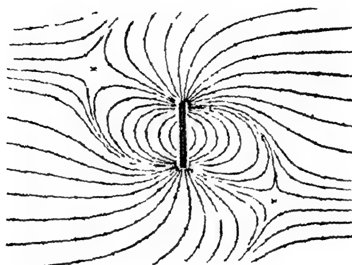
प्रयोग ११३

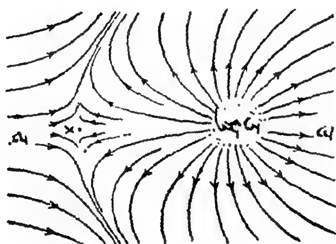




प्रयोग ११४

चुंबक पट्टी पूर्वपश्चिम असून
उत्तर टोक पूर्वेकडे





चुंबक पट्टी कागदावर
उभी धरून

कांटा वाटेल त्या दिशेनें स्थिर होतो. या दोन बिंदूस **निष्क्रिय बिंदू** (Neutral Points) असें म्हणतात.

प्रयोग ११४:–चुंबक पट्टीची टोंकें पालटून म्हणजे उत्तर ध्रुव दक्षिणेकडे व दक्षिण ध्रुव उत्तरेकडे करून मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें नकाशा काढा. या वेळच्या नकाशांत व मागील प्रयोगांतील नकाशांत कांहीं साम्य अथवा भेद आहे कां ? निष्क्रिय बिंदू पूर्वीच्याच ठिकाणीं आहेत का ? वगैरे गोष्टींचे नीट निरीक्षण करा.

या वेळीं निष्क्रिय बिंदू चुंबकाच्या उत्तरेकडे व दक्षिणेकडे आहेत असें दिसेल.

चुंबक कांट्याच्या सहाय्यानें चुंबक क्षेत्रांचे पुढील रचना करून नकाशे काढा.

१ चुंबक पट्टी पूर्व–पश्चिम असून उत्तर टोंक पूर्वेकडे.

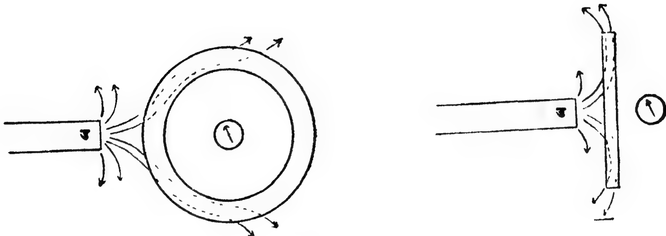
२ चुंबक पट्टी पूर्व–पश्चिम असून उत्तर टोंक पश्चिमेकडे.

३ चुंबक पट्टी कागदावर उभी धरून.

४ नालाकार चुंबक घेऊन.

५ नालाकार चुंबक रक्षकासह ठेवून.

मागील प्रकरणांत आपण असें पाहिलें आहे कीं चुंबक व चुंबक कांटा यांच्यामध्यें लोखंडी पत्रा ठेवला असतां अथवा कांटा लोखंडी कडीत ठेवला



आकृति १०२

असतां चुंबकाचा कांट्यावर कांहींच परिणाम होत नाहीं. लोखंडाची चुंबकत्व वाहकशक्ति (Permeability) हवेपेक्षां जास्त असल्यानें बलरेषा

हवेंतून न जातां लोखंडांतूनच जातात; म्हणून चुंबकाचा चुंबक कांट्यावर कांहींच परिणाम होत नाहीं. ही गोष्ट मागिल आकृतीवरून स्पष्ट होईल.

प्रश्न संग्रह १२.

(१) चुंबक क्षेत्र, बलरेषा व त्यांची धनदिशा म्हणजे काय ?

(२) पट्टीच्या चुंबकाचा उत्तर ध्रुव कोंणच्याहि दिशेकडे करून ठेवला तरी त्याच्या क्षेत्राचा लोंखंडी कणांच्या सहाय्यानें काढलेला नकाशा एकसारखा असतो याचे कारण काय ?

(३) लोखंडी कणांच्या सहाय्यानें काढलेल्या चुंबक पट्टीच्या चुंबक क्षेत्रांच्या नकाशांत निष्क्रिय बिंदू कां दिसत नाहींत ?

(४) चुंबक पट्टीचा उत्तर ध्रुव वर करून ती कागदाचे खालीं उभी धरली असेल तर तिच्या चुंबक क्षेत्राचा. (१) लोखंडी कणाच्या सहाय्यानें. (२) चुंबक काट्यानें नकाशा काढा.

प्रकरण १३ वें.

भूचुंबकत्व (Terrestrial Magnetism)

क्षितिज समांतर पातळींत फिरण्यास मोकळी राहील, अशा रीतीनें टांगलेली चुंबकसुई तिचेजवळ दुसरा चुंबक नसल्यास उत्तर–दक्षिण स्थिर होते ही गोष्ट पृथ्वीच्या कोणत्याहि ठिकाणीं प्रयोग केल्यास खरी ठरते. तसेंच पृथ्वीवरील कोणच्याहि ठिकाणीं काढलेल्या चुंबकीय क्षेत्राच्या नकाशांतील बलरेषा एकमेकांस समांतर असून त्या उत्तर दक्षिण असतात. यावरून चुंबक सुईला उत्तर दक्षिण स्थिर करणारी चुंबक शक्ति पृथ्वींत असून तिच्या भौगोलिक उत्तर ध्रुवाजवळ सुईच्या उत्तर ध्रुवास आकर्षण करणारी शक्ति व भौगोलिक दक्षिण ध्रुवाजवळ दक्षिण ध्रुवास आकर्षण करणारी शक्ति याप्रमाणें शक्ती असल्या पाहिजेत. अथवा भूचुंबकाचा, पृथ्वीच्या भौगोलिक उत्तर ध्रुवाजवळ दक्षिण ध्रुव व भौगोलिक दक्षिण ध्रुवाजवळ उत्तर ध्रुव याप्रमाणें ध्रुव असले पाहिजेत.

प्रयोग ११५—सुमारें २० सें. मी. लांब व २ सें. मी. रुंद अशी पातळ लोखंडी पट्टी चुंबक कांट्यांस समांतर धरा. तिच्या टोंकावर हळू हळू टोका. चुंबक कांट्यानें तिच्या टोंकांचें परीक्षण करा. तिच्या उत्तरेकडील टोंकात उत्तर दर्शी ध्रुव उत्पन्न झाला आहे असें आढळून येईल.

पट्टींत चुंबकत्व आणण्याकरिता तिच्यांतील अणुचुंबकाची मांडणी विवक्षित प्रकारें व्हावी लागते व ती मांडणी होण्यास लागणारी शक्ति अर्थात् पृथ्वींतच असली पाहिजे. ही गोष्ट या प्रयोगावरून सिद्ध होते.

विचलन (Declination)

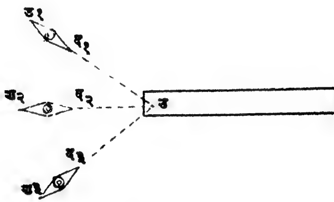
कोणतेंहि ठिकाण, पृथ्वीचा उत्तर ध्रुव आणि दक्षिण ध्रुव या तिहींतून जाणाऱ्या उभ्या पातळीस (Vertical plane) त्या ठिकाणची **भौगोलिक भूमध्य पातळी** (Geographical Meridian) म्हणतात.

कोणतेहि ठिकाण, पृथ्वीचा चुंबकीय उत्तर ध्रुव आणि दक्षिण ध्रुव या तिहींतून जाणाऱ्या उभ्या पातळीस, अथवा कोणत्याहि ठिकाणीं ठेवलेल्या चुंबक कांट्याच्या चुंबकीय आंसांतून जाणाऱ्या उभ्या पातळीस त्या ठिकाणची **चुंबकीय भूमध्य पातळी** (Magnetic Meridian) म्हणतात.

या दोन पातळ्यांमधील कोनास त्या ठिकाणचा **विचलन कोन** (Declination) म्हणतात.

चुंबकाचा चुंबकीय आंस ठरविणें.

प्रयोग ११६–चित्रफलकावर टांचण्यांनीं एक कागद पक्का बसवा. या कागदावर एक चुंबक पट्टी ठेवा व तिची रूपरेषा बारीक टोंकाच्या पेन्सिलीनें आंखून घ्या. टेबलावर उत्तर–दक्षिण दिशा दर्शविणारी रेषा खडूनें काढा. पट्टीचे टोंकापासून कांहीं अंतरावर चुंबक कांटा ठेवा. तो कांटा बरोबर उत्तर–दक्षिण राहीतों फळा फिरवा. कांट्याच्या टोंकाखालीं (उ$_{1}$, द$_{1}$) पेन्सिलीनें खुणा करा. दुसऱ्या दोन ठिकाणीं याचप्रमाणें कांटा ठेवून वरील कृति करा व त्याच्या टोंकाखालीं उ$_{2}$, द$_{2}$ आणि उ$_{3}$, द$_{3}$ अशा खुणा करा. पेन्सिलीनें केलेल्या खुणांच्या जोड्या सांधा व सांधणाऱ्या रेषांचा छेदन बिंदू काढा. हा चुंबक पट्टीचा एक ध्रुव(उ) होईल. याचप्रमाणें पट्टीच्या दुसऱ्या ध्रुवाची जागा निश्चित करा व त्या ठिकाणीं चुंबक पट्टीवर खूण करा. या दोन्ही खुणा सांधा म्हणजे चुंबकाचा चुंबकीय आस मिळेल.

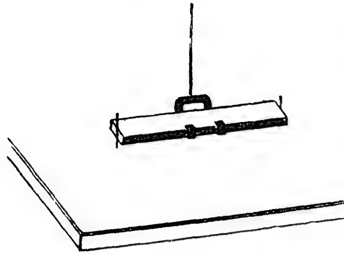


आकृति १०३

चुंबकीय भूमध्य पातळी ठरविणें.

प्रयोग ११७–फळ्यावर एक कागद घट्ट बसवा. वरील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें ध्रुवांच्या खुणा केलेली चुंबक पट्टी, कागदास जवळ जवळ टेकेल व क्षितिज समांतर पातळींत मोकळी फिरेल, अशा रीतीनें बिन पिळाच्या धाग्यानें लांकडी आधारावर टांगा. दुसऱ्या चुंबकाच्या सहाय्यानें टांगलेल्या पट्टीस हेलकावे द्या. पांच सहा हेलकाव्यानंतर हेलकाव्यांच्या अंतिम मर्यादा दाखविण्याकरितां पट्टीच्या दोन्ही टोंकांकडील ध्रुवांसमोर दोन दोन खुणा करा. त्या खुणा सांधा व त्या रेषांमधील कोन दुभागा. ही रेषा चुंबकीय उत्तर–दक्षिण दिशा दाखवील. या रेषेंतून जाणारी उभी पातळी ही त्या ठिकाणची चुंबकीय भू–मध्य पातळी असते.

प्रयोग ११८–चुंबक पट्टीच्या दोन्ही टोंकांच्या मधोमध पट्टीच्या लांबीस व रुंदीस काटकोन करून रहातील अशा दोन सुया मेणानें चिकटवा. सुया उभ्या असून त्यांचीं टोकें फळ्यावर बसविलेल्या कागदास जवळ जवळ चिकटतील व चुंबक पट्टी क्षितिज समांतर पातळींत मोकळी फिरेल अशा रीतीनें पट्टी रिकेबींत टांगा. पट्टी स्थिर झाली म्हणजे सुयांच्या टोंकाखालीं कागदावर खुणा करा. चुंबक पट्टीची वरची बाजू खालीं व खालची वर करा. आतां सुयांच्या नेढ्यांखालीं खुणा करा. कागदांवरील खुणा सांधा व या दोन रेषांमधील कोन दुभागा. या कोन-द्विभाजकांतून जाणारी उभी पातळी चुंबक भूमध्य पातळी दर्शवील.



आकृति १०४

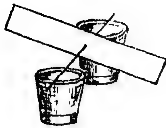
कोणत्याही ठिकाणचा विचलन कोन ठरविणें.

प्रयोग ११९–एका फळ्यावर टांचण्यांच्या सहाय्यानें एक कागद घट्ट बसवा. त्यावर त्या ठिकाणची चुंबकीय उत्तर–दक्षिण दर्शविणारी रेषा काढा. या रेषेवर कागदाच्या पातळीशीं काटकोन करून एक विणण्याची सुई रोंवा. तो फळा उन्हांत ठेवून मध्यान्हापूर्वी सुमारें १५ मिनिटांपासून तों मध्यान्हानंतर १५ मिनिटेंपर्यंत प्रत्येक २,२ मिनिटांनीं सावलीचे टोंकाशीं एकेक खूण करा. या खुणा अखंड रेषेनें साधा. ज्या ठिकाणीं सावलीची लांबी लघुतम असेल तेथें खूण करा. ही खूण, सुई ज्या बिंदूवर रोंवली आहे, त्या बिंदूशीं सांधा. ही रेषा भौगोलिक उत्तर–दक्षिण दिशा दर्शवील. चुंबकीय दक्षिणोत्तर दाखविणारी रेषा व ही रेषा यांचेमधील कोन म्हणजेच त्या ठिकाणचा विचलन कोन होय.

प्रत्येक ठिकाणचा विचलन कोन स्थिर असावा अशी पूर्वी समजूत होती पण तो स्थिर नाहीं असें आतां आढळून आलें आहे.

खलाशांच्या सोयीसाठीं तयार केलेल्या नकाशावर ज्या ज्या ठिकाणांचा विचलन कोन सारखा असतो तीं तीं ठिकाणें अखंड रेषांनीं सांधलेलीं असतात. अशा रेषांना '**समविचलन दर्शिका**' (Isogonic lines) म्हणतात.

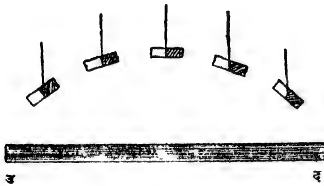
प्रयोग १२०—पोलादाची सुमारें ३ इंच लांबीची एक लहान व पातळ पट्टी घ्या. तिच्या बरोबर मध्यभागीं एक बारीक छिद्र पाडा. या



आकृति १०५

छिद्रांतून तांब्याच्या तारेचा तुकडा घाला व आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें तो दोन पेल्यांवर ठेवा. म्हणजे ती पट्टी उभ्या पातळींत फिरण्यास मोकळी राहील. ती समतोल नसल्यास करून घ्या. पट्टी काढून घेऊन तिच्यांत चुंबकत्व आणा. पूर्वीप्रमाणेंच ती पट्टी पुनः टांगा व समतोल राहाते का पाहा. ती आतां समतोल राहात नाहीं असें दिसेल. उत्तर गोलार्धांत हिचें उत्तर टोंक खालीं झुकलेलें असतें व जसजसें आपण अधिकाधिक उत्तरेकडे जाऊं तसतसें हें टोंक अधिकाधिक खालीं झुकतें.

प्रयोग १२१–घड्याळाच्या कमानीचा लहान तुकडा घ्या. त्यास बरोबर



आकृति १०६

मध्यभागीं एक छिद्र पाडा. त्यांत चुंबकत्व आणा. तांब्याच्या तारेचा तुकडा छिद्रांत घाला. म्हणजे हा लहान चुंबक तारेभोंवतीं फिरूं लागेल. एक लांब चुंबक पट्टी घ्या. तिच्या उत्तर ध्रुवाजवळ हा लहान चुंबक आणा. याचा दक्षिण ध्रुव पट्टीच्या उत्तर ध्रुवास अगदीं चिकटलेला असून हा चुंबक त्या पट्टीशीं काटकोन करून उभा रहातो असें दिसेल. हा चुंबक पट्टीच्या उत्तर ध्रुवापासून दक्षिण ध्रुवाकडे न्या व काय होतें तें पाहा. (१) याचा दक्षिण ध्रुव हळू हळू वर येऊं लागतो. (२) पट्टीच्या मध्यभागीं हा पट्टीस समांतर असतो. (३) दक्षिण ध्रुवाकडे गेल्यास याचें उत्तर टोंक झुकतें. (४) पट्टीच्या दक्षिण ध्रुवावर याचें उत्तर टोंक टेंकतें व हा चुंबक पुनः त्यास काटकोन करून उभा रहातो, असें दिसेल.

वरील दोन्ही प्रयोगांतील साम्यावरून असें स्पष्ट होईल कीं पृथ्वींतील चुंबकाचें चुंबक क्षेत्र भूपृष्ठाला समांतर असणाऱ्या पातळींतच केवळ

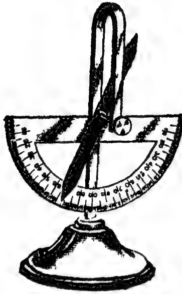
असत नाहीं तर तें भू पृष्ठाशीं काटकोन करून असणाऱ्या पातळींत देखील असतें.

कलकोन (Angle of Dip).

कोणत्याहि ठिकाणीं, चुंबक कांटा चुंबकीय भूमध्य पातळींत फिरण्यास मोकळा असतां क्षितिज समांतर पातळीशीं जो कोन करतो, त्या कोनास त्या ठिकाणचा **कलकोन** म्हणतात.

कलकोन ठरविणें:—

प्रयोग १२२—उभ्या पातळींत फिरण्यास मोकळ्या असलेल्या चुंबकाचा आंस, अंशांच्या खुणा केलेल्या गोल खरड्याच्या बरोबर मध्य बिंदूतून जाईल अशा रीतीनें चुंबक कांटा टांगा. दुसऱ्या चुंबक कांट्यांच्या सहाय्यानें चुंबक भूमध्य पातळी ठरवा. या पातळीशीं खरड्याची पातळी समांतर येईल अशा रीतीनें चुंबक ठेवा. हा कांटा क्षितिज समांतर पातळीशीं किती अंशांचा कोन करतो तें पाहा, म्हणजे त्या ठिकाणचा कलकोन कळेल.



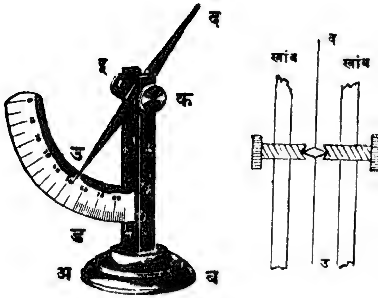
आकृति १०७

प्रयोग १२३—मागील प्रयोगांतील टांगलेल्या चुंबकाची फिरण्याची उभी पातळी, म्हणजे खरड्याची पातळी, चुंबकीय भूमध्य पातळीशीं निरनिराळे कोन करील अशा रीतीनें चुंबक कांटा ठेवा. प्रत्येक वेळीं तो क्षितिज समांतर पातळीशीं किती अंशांचा कोन करतो तें पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं चुंबक कांट्याची फिरण्याची पातळी जेव्हां चुंबकीय भूमध्य पातळीशीं कांटकोन करून असते,तेव्हां चुंबक कांटा क्षितिज—समांतर—पातळीशीं बरोबर काटकोन करतो.

कलकांट्याच्या सहाय्यानें कलकोन ठरवितांना वरील निरीक्षणाचा उपयोग करतात.

कलकांटा (Dip needle).

'अ ब' या बैठकीवर अंशाच्या खुणा केलेल्या असून तिच्या मध्यबिंदुवर 'क ड इ' हा पितळी चिमटा उभा बसविलेला असतो. हा चिमटा किती अंश फिरला हें दाखविण्याकरितां त्यास 'ड' हा दर्शक बसविलेला असतो. या चिमट्याच्या दोन्हीं पायास वरचें बाजूस क्षितिज समांतर पातळींत दोन स्क्रू बसविलेले असून त्यांचीं आंतील टोंकें शंक्वाकार पोकळ



आकृति १०८

केलेलीं असतात. 'उ द' या चुंबक कांट्याच्या बरोबर गुरुत्व मध्यांतून (Centre of Gravity) जाणाऱ्या व त्यास पक्क्या बसविलेल्या आसाचीं टोंकें देखील शंक्वाकार केलेलीं असतात. या आंसाच्या सहायानें चुंबक कांटा दोन्ही बाजूंच्या स्क्रूच्या टोंकांत अडकविलेला असतो व म्हणून तो उभ्या पातळींत मोकळा फिरतो. अंशाच्या खुणा केलेली वर्तुलाकार पितळी पट्टी, तिचा मध्यबिंदू चुंबकाच्या आसाशीं जुळेल अशा रीतीनें चिमट्याच्या पायावर चुंबक कांट्याच्या मागच्या बाजूस बसविलेली असते. हिच्या सहाय्यानें कलकोन मोजतां येतो.

कलकांट्यानें कलकोन ठरविणें:—

प्रयोग १२४—चुंबक कांटा बरोबर उभा राहीतों हें यंत्र फिरवा. या वेळीं चुंबक कांट्याची फिरण्याची पातळी चुंबकीय भूमध्यपातळीशीं काटकोन करते. कलकांट्याची 'अ ब' ही बैठक डाव्या हातानें दाबून ठेवून उजव्या हातानें चिमटा ९०° अंश फिरवा. म्हणजे चुंबक कांटा चुंबक-भूमध्य पातळींत येईल. या वेळीं कांटा क्षितिज समांतर पातळीशी किती अंशाचा कोन करतो तें पाहा, म्हणजे कलकोन समजेल.

विचलन कोनाप्रमाणेंच प्रत्येक ठिकाणचा कलकोनहि निरनिराळाच असतो. पृथ्वीवरील ज्या ठिकाणीं कलकोन सारखा आहे अशीं ठिकाणें

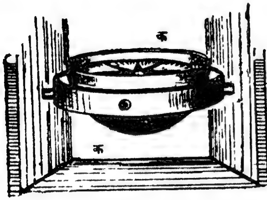
साधणाऱ्या रेषांस ' **समकल दर्शिका** ' Isoclinals or Isoclinic lines म्हणतात. या रेषा पृथ्वीच्या नकाशावरील अक्षांशांच्या रेषांसारख्या असतात. ज्या ठिकाणीं कलकोन ०° अंश आहे अशीं ठिकाणें सांधणाऱ्या रेषेस चुंबकीय विषुववृत्त (Magnetic Equator) अथवा **निष्कल रेषा** (aclinic line) असें म्हणतात.

निरनिराळ्या ठिकाणचे कलकोन मोजताना बूथिया फेलिक्स (अक्षांश ७०°–५' उ० व रेखांश ९६°–४६' प०) या ठिकाणीं कलकाट्याचा उत्तरध्रुव झुकलेला असून तेथील कलकोन ९०°चा आहे व तसेंच साऊथ व्हिक्टोरिया (अक्षांश ७२° – २५ द० व रेखांश १५४° पूर्व) या ठिकाणीं कांट्याचा दक्षिणध्रुव झुकलेला असून कलकोन ९०° चा आहे असें आढळून आलें. यावरून भूचुंबकाचा दक्षिणध्रुव बूथिया फेलिक्स येथें व उत्तर ध्रुव साऊथ व्हिक्टोरिया येथें असला पाहिजे.

विचलन कोनाप्रमाणें प्रत्येक ठिकाणचा कलकोनहि बदलत असतो.

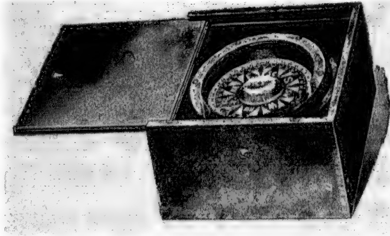
खलाशांचें होकायंत्र (Mariners' Compass.)

या यंत्रांत एका गोल खरड्यावर त्याच्या परिघाचे समान ३२ भाग होतील अशा रीतीनें खुणा केलेल्या असतात. यांपैकीं एका खुणेस उत्तर व तिचे विरुद्ध खुणेस दक्षिण म्हणतात. या खरड्याच्या मध्यभागीं एक पितळी वाटी अथवा टोपी असते. तिच्यांत पोकळ शंकूच्या आकाराचा अकीक (agate) बसविलेला असतो. कार्डाचे खालचे बाजूस व टोपीच्या दोन्ही अंगांस,चुंबकीय सुयांचे उत्तरध्रुव कार्डावरील उत्तर दिशेकडे येतील अशा रीतीनें तीन तीन किंवा चार चार चुंबकीय सुया रेशमी दोऱ्यानें बांधलेल्या असतात.तांब्याच्या किंवा पितळेच्या अर्धगोलाकृति व जडबूड असलेल्या डबीच्या मध्यभागीं एक टोंकदार उभी सुई बसविलेली असते.तिच्या टोंकावर खरड्याच्या मध्यभागीं असलेली टोपी ठेवलेली असते. समुद्राच्या लाटांमुळें जहाजांत होणाऱ्या हालचालीचा या यंत्रावर परिणाम होऊं नये व



आकृति १०९

चुंबक सुया नेहमीं क्षितिज समांतर पातळींतच फिरण्यास मोकळ्या राहाव्या म्हणून ही डबी एका पितळी कडींत पूर्णपणें फिरेल अशा रीतीनें ‘ क क ’ ठिकाणीं अडकविलेली असते. ‘ क क ’ रेषेशीं काटकोन करणाऱ्या आंसावर ही कडी बाहेरीले पेटींत टांगलेली असते, हें मागील आकृती वरून स्पष्ट होईल.



खलाशाचें होकायंत्र—आकृति ११०

प्रश्नसंग्रह १३ वा.

(१) चुंबक पट्टीचा चुंबकीय आंस कसा ठरवाल ?

(२) विचलन कोन म्हणजे काय ? कोणत्याहि ठिकाणचा विचलन कोन कसा ठरवाल ?

(३) चुंबक भूमध्य पातळी म्हणजे काय ? ती (१) चुंबक पट्टीनें (२) कलकाटयानें कशी ठरवाल ?

(४) भू चुंबकक्षेत्र केवळ क्षितिज समांतर पातळींतच नसून उभ्या पातळींतहि असतें हें कसें सिद्ध कराल ? प्रयोग लिहा.

(५) कलकाटयाचे वर्णन करा. कलकांटयानें कोणत्याहि ठिकाणचा कलकोन कसा ठरवाल ?

(६) समविचलन दार्शिका, समकल दार्शिका आणि निष्कल रेषा म्हणजे काय ?

(७) खलाशांच्या होकायंत्राचें वर्णन लिहा.

विज्ञान-भाग ३ रा.

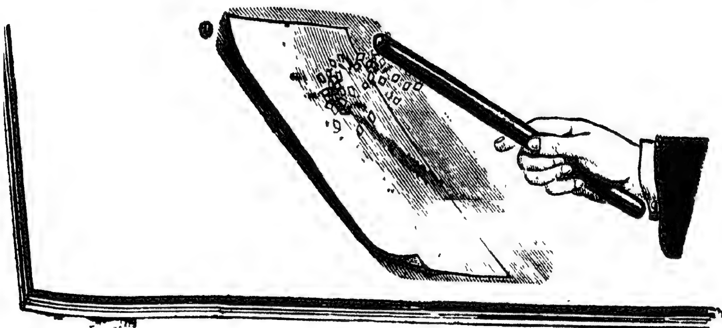
प्रकरण १ लें.

विद्युत्.

स्थिर विद्युत् (Static Electricity) अथवा घर्षणजन्य विद्युत् (Frictional Electricity)

प्रयोग १२५—इबोनाईटचा कंगवा केंसावरून कांहीं वेळ फिरवा व कंगवा कागदाच्या लहान लहान तुकड्याजवळ अथवा गवताच्या बारीक बारीक काड्याजवळ न्या. कागदाचे तुकडे अथवा गवताच्या काड्या त्यास चिकटतात का पाहा. कंगव्यास कागदाचे तुकडे अथवा गवताच्या काड्या चिकटतात असें दिसेल.

प्रयोग १२६—काचेचा दांडा रेशमानें घांसून तोहि टेबलावर पडलेल्या



आकृति १११

लहान लहान कागदाच्या कपट्याजवळ न्या. कागदाचे कपटे त्यास चिकटतात का पाहा. ते त्यास चिकटतात असें दिसेल.

प्रयोग १२७—मोराचें पीस बोटांत धरून १०/१२ वेळा ओढा. तें पीस भिंतीवर फेंका. तें भिंतीस चिकटतें का पाहा. तें भिंतीस चिकटतें असें दिसेल.

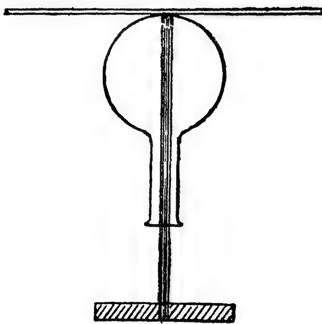
वरील प्रयोगांवरून असें दिसून येईल कीं, कांहीं पदार्थ योग्य पदार्थांनीं घांसल्यास त्यांच्या अंगीं लहान पदार्थ आकर्षण करण्याची शक्ति येते.

अँबरला (Amber) रेशमानें घांसल्यास त्याचे अंगीं लहान लहान पदार्थ आकर्षण करण्याची शक्ति येते ही गोष्ट फार प्राचीन कालीं लोकांस माहीत होती. लहान लहान पदार्थांना याप्रमाणें आकर्षण करणें हा अँबरचाच गुण विशेष आहे अशी त्यांची त्या वेळीं कल्पना होती, पण एलिझाबेथ राणीच्या पदरीं असलेल्या **गिलबर्ट** नांवाच्या शास्त्रज्ञानें १६ व्या शतकांत असें सिद्ध केलें कीं अँबरशिवाय कांच, इबोनाइट् इ. पदार्थांच्या अंगीं देखील हा गुणधर्म आहे. या पदार्थांना रेशीम, फ्लॅनेल, माजरीचें कांतडें, अशा पदार्थांनीं घांसलें असतां, त्यांच्या अंगीं लहान लहान पदार्थ आकर्षण करण्याची शक्ति येते.

घर्षणामुळें उत्पन्न होणाऱ्या या गुण विशेषांस **'विद्युज्जागृति'** (Electric Charge) असें म्हणतात. इंग्रजी भाषेंतील Electricity हा शब्द Electron म्हणजे **अँबर** या शब्दापासून निघालेला आहे.

ज्या पदार्थांत घर्षणामुळें अंबरप्रमाणें लहान लहान पदार्थ आकर्षण करण्याची शक्ति आलेली असते ते पदार्थ **'विद्युज्जागृत'** (Electrified अथवा Charged with Electricity) झाले आहेत असें म्हणतात.

विद्युतनें जागृत व अजागृत पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असतें--



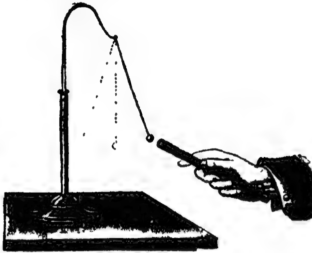
आकृति ११२

प्रयोग १२८—गोल बुडाचा चबू एका लांकडी आधाराच्या उभ्या दाडयावर पालथा ठेवा. त्याच्या बुडावर एक मिटर पट्टी (metre rule) समतोल राहील अशी ठेवा. विद्युज्जागृत कांचेचा अथवा इबोनाईटचा दांडा त्या पट्टीच्या टोंकाजवळ आणा व काय होते तें पाहा. पट्टी दांडयाकडे ओढली जाते असें दिसेल.

प्रयोग १२९—इबोनाईटचा दांडा फ्लॅनेलनें घांसून विद्युज्जागृत करा. कांचेच्या आधारावर, बिन पिळाच्या रेशमी धाग्यानें टांगलेल्या, तांब्याच्या तारेच्या रिकेबींत तो ठेवा. घांसलेल्या टोंकाजवळ लांकडी पट्टी न्या व काय होतें तें पाहा. तसेंच न घांसलेल्या टोंकाजवळहि लाकडी पट्टी नेऊन पाहा. घांसलेलें टोंक पट्टीकडे ओढलें जातें, पण न घांसलेलें टोंक ओढलें जात नाहीं असें दिसेल.

वरील प्रयोगांवरून **जागृत व अजागृत पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असतें** असें सिद्ध होतें.

विद्युतचे दोन प्रकार.



आकृति ११३

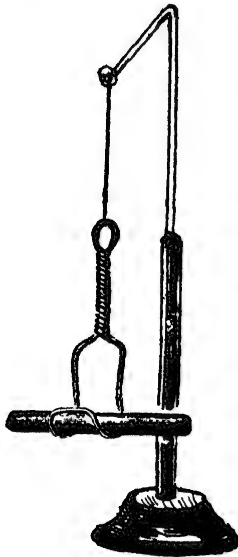
प्रयोग १३०— इबोनाइटचा दांडा फ्लॅनेलनें घांसून, कांचेच्या आधारावर रेशमी दोऱ्यानें टांगलेल्या व वर्ख लावलेल्या, भेंडाच्या गोळीजवळ आणा. गोळी त्यास चिकटते का पाहा. ती त्याचेकडे ओढली जाते व नंतर त्यापासून दूर जाते असें दिसेल. या गोळी जवळ फ्लॅनेलनें घांसलेला दुसरा इबोनाइटचा दांडा आणा व गोळीवर होणारा परिणाम पाहा. ती त्याचेपासून दूर ढकलली जाते असे दिसेल. आतां रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा त्या गोळीजवळ आणा. ती दांडयापासून दूर ढकलली जाते किंवा त्याचेकडे ओढली जाते याचें निरीक्षण करा. गोळी कांचेच्या दांडयापासून दूर न जातां त्याचेकडे जोरानें ओढली जाते असें आढळून येईल.

फ्लॅनेलनें घांसलेल्या इबोनाइटच्या दांडयास एकदां चिकटलेली भेंडाची गोळी त्या दांडयापासून दूर जाते. फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दुसरा दांडा तिच्याजवळ आणल्यास ती त्याचेपासून दूर जाते, पण रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा तिचेजवळ आणल्यास ती आकर्षिली जाते.

प्रयोग १३१—मागील प्रयोगाप्रमाणेंच रेशमी दोऱ्यानें टांगलेल्या भेंडाच्या गोळीजवळ रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा आणा. गोळी

पहिल्यानें त्यास चिकटते, विद्युतज्जागृत होतें, व लागलीच त्याचेपासून दूर जाते असें दिसेल. रेशमी कापडानें घांसलेला दुसरा कांचेचा दांडा व फ्लॉनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा क्रमाक्रमानें गोळीजवळ आणा व प्रत्येक वेळीं काय होतें तें पाहा. कांचेच्या दांड्यामुळें ती गोळी दूर ढकलली जाते पण इबोनाइतच्या दांड्यामुळें ती आकर्षिली जाते असें दिसेल.

वरील प्रयोगांवरून असें दिसेल कीं ज्या विद्युज्जागृत पदार्थास रेशमानें घांसलेला काचेचा दाडा आकर्षण करतो, त्यास फ्लॉनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा दूर ढकलतो; व ज्यास फ्लॅनेलनें घासलेला इबोनाइटचा दांडा आकर्षण करतो, त्यास रेशमानें घांसलेला काचेचा दांडा दूर ढकलतो. रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा व फ्लॉनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा यांचें एकाच विद्युज्जागृत पदार्थावरील कार्य विरुद्ध प्रकारचें आहे. म्हणून त्याच्यावरील विद्युत्जागृतीहि विरुद्ध प्रकारच्या आहेत.


आकृति ११४

बेंजामिन फ्रॅंकलिननें रेशमानें घासलेल्या कांचेच्या दांड्यावरील जागृतीस '**धनजागृति**' (Positive charge) व फ्लॅनेलनें घांसलेल्या इबोनाइटच्या दांड्यावरील जागृतीस '**ऋणजागृति**' (Negative charge) अशीं नांवें दिलीं. धनजागृतीस 'Vitreous' व ऋण जागृतीस 'Resinous' असेंहि म्हणतात.

विद्युज्जागृत पदार्थांमधील आकर्षण व प्रतिसारण—

प्रयोग १३२— कांचेच्या आधारावर, बिनपिळाच्या रेशमी धाग्यानें टांगलेल्या तारेच्या रिकीबींत, फ्लॅनेलनें घांसून जागृत केलेला इबोनाइटचा दांडा ठेवा. फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा व रेशमानें घांसून जागृत केलेला कांचेचा दांडा क्रमाक्रमानें त्याच्या घांसलेल्या टोंकांजवळ आणा. काय होतें तें पाहा. तसेंच रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा रिकेबींत ठेवा

व त्याच्या घांसलेल्या टोंकाजवळ रेशमानें घांसलेला दुसरा कांचेचा दांडा व फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा क्रमाक्रमाने आणा. प्रत्येक वेळीं काय होतें तें नीट पाहा. आपलीं निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

टांगलेला दांडा	जवळ आणलेला दांडा	निरीक्षण
१ फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा.	फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा.	प्रतिसारितात
२ ,,	रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा.	आकर्षितात.
३ रेशमानें घासलेला कांचेचा दांडा.	रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा.	प्रतिसारितात.
४ ,,	फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा.	आकर्षितात.

वरील निरीक्षणावरून असें दिसून येईल कीं,

१ सजातीय विद्युज्जागत पदार्थ एकमेकांस प्रतिसारितात.

२ विजातीय विद्युज्जागृत पदार्थ एकमेकांस आकर्षितात.

प्रयोग १३३–रेशमी दोऱ्यानें टांगलेल्या भेंडाच्या दोन गोळ्या विद्युज्जागृत कांचेच्या दांड्यास लावा व एकमेकीं जवळ आणा. तसेंच विद्युज्जागृत इबोनाइटच्या दांड्यास लावलेल्या दोन गोळ्या जवळ आणा. व काय होते तें पाहा. दोन्ही वेळीं गोळ्या एकमेकींस दूर लोटतात असें दिसेल.

प्रयोग १३४–फ्लॅनेलनें घांसलेल्या इबोनाइटच्या दांड्यास लाविलेली एक गोळी, रेशमानें घांसलेल्या कांचेच्या दांड्यास लाविलेल्या दुसऱ्या गोळीजवळ आणा. व काय होते तें पाहा. त्या गोळ्या एकमेकींस चिकटतात असें दिसेल.

वरील प्रयोगांवरूनहि असेंच दिसून येईल कीं

१ सजातीय विद्युतनें जागृत झालेले पदार्थ एकमेकांस प्रतिसारतात.

२ विजातीय विद्युतनें जागृत झालेले पदार्थ एकमेकांस आकर्षितात.

विद्युज्जागृतीचें खरें लक्षण म्हणजे प्रतिसारणः—

जागृत पदार्थ अजागृत पदार्थांस आकर्पितात हें आपण मागें पाहिलेंच आहे. ज्या अर्थी जागृत पदार्थ, विरुद्ध प्रकारच्या विद्युतनें जागृत झालेला पदार्थ व तसाच अजागृत पदार्थ या दोहोंसहि आकर्षितात, त्या अर्थी आकर्षणावरून पदार्थ जागृत आहे किंवा नाहीं हें नक्की सांगतां येत नाहीं. पण जागृत पदार्थ सजातीय विद्युतनें जागृत झालेल्या पदार्थांस प्रतिसारतात म्हणून **प्रतिसारण हेंच विद्युज्जागृतीचें** खरें लक्षण आहे.

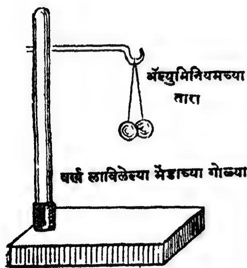
विद्युद्दर्शक यंत्र—(Electroscope).

विद्युज्जागृति आणि विद्युत्शक्तींतील कमीजास्त होणारे फरक, ज्या यंत्रामुळें पाहतां येतात त्या यंत्रास ‘ विद्युद्दर्शक यंत्र’ Electroscope असें म्हणतात. याचे दोन प्रकार असतात.

१ भेंडाच्या गोळयांचें विद्युद्दर्शक यंत्र व

२ सुवर्णपत्र विद्युद्दर्शक यंत्र.

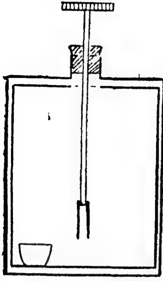
भेंडाच्या गोळयांचें विद्युद्दर्शक यंत्र. Pith-ball electroscope.



आकृति ११५

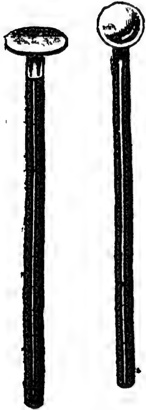
या यंत्रांत एका उभ्या इबोनाइटच्या खांबास जाड तांब्याची तार आडवी बसविलेली असते. ॲल्युमिनियमच्या बारीक तारांनीं या तारेवर भेंडाच्या दोन गोळ्या टांगलेल्या असतात. हें यंत्र विद्युज्जागृत केलें असतां गोळया सजातीय विद्युतनें जागृत होतात, व त्यामुळें त्या एकमेकींस दूर लोटतात.

सुवर्णपत्र विद्युद्दर्शक यंत्र (Gold leaf electroscope) या यंत्रांत टिनाच्या लहान चौकोनी डब्याच्या मागच्या व पुढच्या बाजूस कांचा बसविलेल्या असतात. वरच्या बाजूस असलेल्या गोल तोंडांत इबोनाइटचे अथवा रबराचें बूच असतें. बुचांत एक जाड पितळी तारेचा तुकडा बसविलेला असून त्याच्या खालच्या टोंकास सोन्याच्या वर्खाचीं पानें व वरच्या टोंकास एक गोल पितळी चकती अथवा गोळी बसविलेली असते. आंतील हवा कोरडी राहावी म्हणून डब्याचे आंत एका मुशींत कॅल्शियम क्लोराइडचे खडे ठेविलेले असतात. टिनाच्या डब्याच्या ऐवजीं केव्हां केव्हां नुसत्या कांचेच्या चंबूचा देखील उपयोग करतात.





आकृति ११६



आकृति ११७

याच्या चकतीस विद्युज्जागृत पदार्थाचा स्पर्श होतांच त्यांतील विद्युत्‌चा कांहीं भाग या यंत्रांत येतो, यंत्र विद्युज्जागृत होतें व त्यांतील पानें सजातीय विद्युत्‌नें जागृत झाल्यामुळें फांकतात.

हें यंत्र नाजूक असल्यानें तीव्र जागृति असलेला (Strongly electrified) पदार्थ त्याचे चकतीस लाविला तर पानें फाटण्याचा संभव असतो, म्हणून या यंत्राकडे विद्युत् शक्ति नेण्याकरितां **परीक्षापत्र** (Proof-plane) नांवाच्या यंत्राचा उपयोग करतात. या यंत्रांत एका रोधक पदार्थाचे दांड्यास एक धातूची गोल चकती बसविलेली असते. ही धातूची चकती, रोधक दांड्यानें धरून, विद्युज्जागृत पदार्थास लाविल्यास जागृत पदार्था-

वरील विद्युत्‌चा कांहीं भाग चकतींत येतो व ही विद्युद्दर्शक यंत्राजवळ बिनधोक नेतां येते.

विद्युद्वाहक व विद्युद्रोधक पदार्थ (Conductors and Insulators.)

प्रयोग १३५:—फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा अथवा रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा विद्युद्दर्शकाच्या चकतीस लावा; म्हणजे विद्युद्दर्शक यंत्र विद्युज्जागृत होईल व त्याचीं पानें फांकतील. अशा रीतीनें जागृत केलेल्या विद्युद्दर्शकाच्या चकतीस हात लावा व काय होते तें पाहा. पानें ताबडतोब मिटलेलीं दिसतील. कागदाच्या पट्टीचें एक टोंक हातांत धरून दुसरें टोंक विद्युज्जागृत यंत्राच्या चकतीस लावा व यावेळीं काय होते तें पाहा. या वेळीं पानें एकदम न मिटतां हळूहळू मिटतात असें आढळून येईल. हाचप्रयोग ओला व कोरडा रेशमी व सुती दोरा, लांकूड, कोळसा, मेण इ० पदार्थ घेऊन करा. प्रत्येक वेळीं पानांच्या हालचालींत होणारा फरक नीट पाहा.

निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

(१) ज्या पदार्थांमुळें जागृत विद्युद्दर्शकाचीं पानें एकदम मिटतात ते पदार्थ, धातु, कोळसा, इ.... ... ...

(२) ज्या पदार्थांमुळें जागृत विद्युद्दर्शकाची पानें हळूहळू मिटतात ते पदार्थ.... ... ...

(३) ज्या पदार्थांमुळें जागृत विद्युद्दर्शकाची पानें मुळीच मिटत नाहींत ते पदार्थ... ... ...

वरील प्रयोगांत

(१) ज्या पदार्थांमुळें विद्युज्जागृत विद्युद्दर्शकाचीं पानें ताबडतोब मिटतात त्यांस **शीघ्र विद्युद्वाहक** (Good conductors) पदार्थ म्हणतात. जसें धातु, मनुष्य देह, कोळसा इ०.

(२) ज्या पदार्थांमुळें जागृत विद्युद्दर्शकाचीं पानें हळूहळू मिटतात त्या पदार्थांस **मंदवाहक** (Partial conductors) म्हणतात. जसें कागद, दोरा, लांकूड इ०.

(३) ज्या पदार्थांमुळें जागृत विद्युद्दर्शकाचीं पानें मुळींच मिटत

नाहींत त्यांस **रोधक पदार्थ** (Insulators) म्हणतात. जसें कांच, चिनी-माती, रबर, अभ्रक, रेशीम, इ०.

घर्षणानें एकाच वेळीं धन व ऋण विद्युत् समप्रमाणांत उत्पन्न होतात.

प्रयोग १३६—इबोनाइटचा दांडा ज्योतींतून फिरवून पूर्णपणें निर्जागृत करा. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें रेशमी दोरा लाविलेली फ्लॅनेलची टोपी त्यावर घाला व लवकर लवकर फिरवा. टोपी व दांडा अजागृत विद्युद्दर्शकांजवळ आणा व काय होतें पाहा. पानें जशींच्या तशींच राहातात असें दिसेल; पण नुसता दांडा अथवा नुसती टोपी जागृत विद्युद्दर्शकाजवळ आणल्यास नुसत्या दांड्यामुळें ऋण जागृत यंत्रांतील पानें फाकतात व नुसत्या टोपी-मुळें धन जागृत यंत्रांतील पानें फांकतात. म्हणजे घर्षणानें दांडा ऋणविद्युज्जागृत होतो व टोपी धनविद्युज्जागृत होते. ज्या अर्थी

आ. ११८

दांडा व टोपी दोन्ही एकदम विद्युद्दर्शकाजवळ आणल्यानें त्यांत कांहींच फरक होत नाहीं त्या अर्थी टोपीवरील धनविद्युत् व दांड्यावरील ऋणविद्युत् या एकमेकींचा पूर्णपणें नाश करीत असल्या पाहिजेत, म्हणजे समप्रमाणांतच असल्या पाहिजेत.

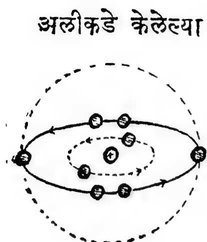
विद्युत् विषयींच्या निरनिराळ्या कल्पना.

अगदीं सुरवातीस (१) सिमर (Symmer.) नांवाच्या शास्त्रज्ञानें असें सुचविलें कीं प्रत्येक पदार्थांत दोन विरुद्ध प्रकारचे विद्युत्द्रव समप्रमाणांत असतात. पदार्थ विद्युज्जागृत करणें म्हणजे त्यांतून कोणत्या तरी एका प्रकारचा विद्युत्द्रव काढून टाकणें होय.

(२) यानंतर बेंजामिन फ्रॅंकलीन यानें अशी कल्पना सुचविली कीं प्रत्येक अजागृत पदार्थांत ठराविक प्रमाणांत विद्युत्द्रव असतो व पदार्थास जागृत करणें म्हणजे त्यांतील विद्युत्द्रवाचें प्रमाण कमी जास्त करणें होय. पदार्थां-तील विद्युत्द्रवाचें प्रमाण वाढल्यास तो धनजागृत होतो व कमी झाल्यास ऋणजागृत होतो. धन व ऋण या शब्दांची अदलाबदल केल्यास फ्रॅंक-लीननें सुचविलेली कल्पना विद्युत् विषयींच्या प्रचलित कल्पनेशीं जुळते.

ज्या अर्थी विद्युज्जागृत पदार्थांचें वजन ते अजागृत असतांना जेवढें असतें तेवढेंच असतें त्याअर्थी विद्युत् ही पदार्थ असूं शकत नाहीं व म्हणून विद्युत् ही द्रव आहे असें मानणें योग्य होणार नाही.

अलीकडे केलेल्या अनेक प्रयोगांवरून असें सिद्ध झालें आहे कीं, प्रत्येक पदार्थांचा परिमाणु हा धनजागृत केंद्राभोंवतीं फिरणाऱ्या एक किंवा अनेक **विद्युत्कणांचा** (Electrons) बनलेला असतो. ज्या प्रमाणें शनि, गुरु आदि ग्रह सूर्याभोंवतीं फिरतात, त्याप्रमाणेंच हे विद्युत्कण धनजागृत केंद्राभोंवतीं फिरत असतात. या ऋणजागृत विद्युत्कणांस Electrons असें म्हणतात. याचा व्यास परमाणूच्या व्यासाच्या $\frac{१}{२५०००}$ पेक्षांहि कमी असतो व यांचें वजन हायड्रोजनच्या परमाणूच्या वजनाच्या $\frac{१}{१८४५}$ इतकें असतें. या सर्व कणांवर असलेली ऋणजागृति केंद्रावर असलेल्या धनजागृति इतकीच असते म्हणून नेहमींच्या परिस्थितींत पदार्थांचे परमाणु अजागृत असतात.



आकृति ११९

वेगवेगळ्या मूळ पदार्थांच्या परमाणूंचें वजन वेगवेगळें असतें. हें वजन, त्या पदार्थांचा परमाणु हायड्रोजनच्या परमाणूच्या कितीपट जड आहे हें दर्शविणाऱ्या आंकड्यानें साधारणतः दर्शविलें जातें व त्यास 'परमाणुभार' (Atomic Weight) असें म्हणतात. सर्वांत हलक्या पदार्थापासून, म्हणजे हायड्रोजन पासून सुरुवात करून पदार्थांच्या परमाणुभारांच्या वाढत्या क्रमांत त्यांची (पदार्थांची) मांडणी केल्यास युरेनियम शेवटीं येईल. या मांडणींत पदार्थाचा जो क्रमांक येईल त्यास **परमाणुक्रम** (Atomic number) असें म्हणतात. या मांडणींत हायड्रोजनचा परमाणुक्रम पहिला असून युरेनियमचा ९२ वा आहे. प्रत्येक पदार्थांच्या परमाणूंत धनकेंद्राभोंवतीं फिरणाऱ्या विद्युत्कणांची संख्या त्या पदार्थाचा परमाणुक्रम दाखविणाऱ्या संख्येइतकी असते. या मांडणींत ऑक्सिजनचा क्रमांक ८ आहे म्हणून ऑक्सिजनच्या परमाणूंत धनकेंद्राभोंवतीं फिरणाऱ्या विद्युत्कणांची संख्या ८ आहे.

परमाणूंतील विद्युत्कण त्याच त्या परमाणूंत राहात नसून त्यांची सारखी अदलाबदल चालू असते. ते ज्या परमाणूंतून निघतील त्या परमाणूंत धनजागृतीचें प्रमाण वाढतें व तो धनजागृत होतो आणि ते ज्या परमाणूंत शिरतील त्या परमाणूंत ऋणजागृतीचें प्रमाण वाढतें व तो ऋणजागृत होतो.

कांचेला रेशमाचा अथवा इबोनाटला फ्लॅनेनचा स्पर्श झाल्यास कांच व फ्लॅनेल यांचेमधील ऋणविद्युत्कण रेशीम व इबोनाइट यांचेमध्यें शिरतात व त्यास ऋण जागृत करतात आणि कांच व फ्लॅनेल याचेमधील विद्युत्कणांची संख्या कमी झाल्यानें ते धन जागृत होतात. ही क्रिया होण्यास केवळ स्पर्श पुरेसा असतो. पण पदार्थ एकमेकांवर घांसल्यानें त्यांचे मधील संबंध अधिक निकट व जास्त भागांशीं येतो; म्हणून कांच रेशमानें व इबोनाइट फ्लॅनेलनें घांसून जागृत करतात.

प्रश्नसंग्रह १४

१. विद्युज्जागृत पदार्थ व अजागृत पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असतें हें कसें सिद्ध कराल ?

२ शीघ्रवाहक, मंदवाहक व रोधक पदार्थ म्हणजे काय ? प्रत्येकाचीं दोन दोन उदाहरणें द्या.

३ सुवर्णपत्र विद्युद्दर्शक यंत्राचें वर्णन करा.

४ तांब्याची नळी घर्षणानें विद्युज्जागृत करावयाची झाल्यास काय योजना करावी लागेल ?

५ घर्षणामुळें फक्त एकाच प्रकारची विद्युत् उत्पन्न करणें शक्य आहे काय ?

६ घर्षणामुळें उत्पन्न होणाऱ्या धन व ऋण विद्युत् समप्रमाणांत असतात हें कसें सिद्ध कराल ?

७ विद्युत् विषयींच्या निरनिराळया कल्पनांची थोडक्यांत माहिती लिहा.

प्रकरण १५ वें.

विद्युत्प्रवर्तन (Induction)

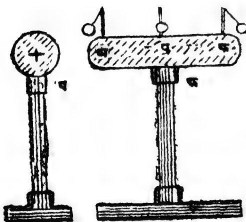
प्रयोग १३७—फ्लॅनेलनें किंवा मांजराच्या कातड्यानें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा, अथवा रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा, विद्युद्दर्शकाच्या चकतीजवळ हळू हळू आणा. पानें फाकतात का पाहा. दांडा चकतीपासून लांब असतानाच पानें फाकूं लागतात असें आढळेल. दांडा चकतीपासून लांब न्या व पानांवर काय परिणाम होतो तो पाहा. पानें आपोआप मिटतात असें दिसेल.

यावरून विद्युज्जागृत पदार्थाच्या केवळ सान्निध्यानेंच रोधित अजागृत वाहकांत जागृति उत्पन्न होते व ही जागृति विद्युज्जागृत पदार्थ जोंपर्यंत जवळ आहे तोंपर्यंतच असते.

अशा रीतीनें केवळ जागृत पदार्थाच्या सान्निध्यानें जी जागृति उत्पन्न होते, त्या जागृतीस **प्रवर्तित जागृति** (Induced charge) व ज्या क्रियेमुळें ती उत्पन्न होते त्या क्रियेस **प्रवर्तन** (Induction) असें म्हणतात.

प्रवर्तनानें उत्पन्न होणारी जागृति कशी असते हें ठरविणें.

प्रयोग १३८—रोधित असा 'प' हा धातूचा गोळा धनविद्युत्नें चांगला जागृत करा आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें भेंडाच्या गोळ्या अथवा कागदाच्या पट्ट्या ज्यांस लाविल्या आहेत असा 'फ' हा रोधित वाहक त्याचे जवळ आणा. गोळ्यावर अथवा पट्ट्यावर काय परिणाम होतो तो पाहा. 'अ' आणि 'क' येथील गोळ्या वाहकापासून दूर जातात व 'ब' येथील गोळी वाहकास चिकटून राहाते असें दिसेल. धनजागृत दांडा 'अ' येथील गोळी जवळ आणल्यास ती आकर्षिली जाते व 'क' येथील गोळी जवळ आणल्यास ती दूर ढकलली जाते.



आकृति १२०

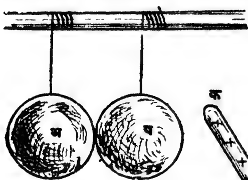
यावरून (१) 'फ' या वाहकाच्या 'अ' आणि 'क' टोंकांत विद्युज्जागृति उत्पन्न झालेली असून 'ब' या ठिकाणीं ती उत्पन्न झालेली नसते.

(२) 'अ' येथील जागृति 'प' गोळ्यावरील जागृतीच्या विरुद्ध प्रकारची व 'क' येथील जागृति 'प' वरील जागृति सारखीच असते, या गोष्टी सिद्ध होतात. अथवा जागृत पदार्थ अजागृत वाहकाजवळ आणल्यास अजागृत वाहक जागृत होतो व त्याच्या जागृत पदार्थाकडील टोंकांत विजातीय व त्या पासून दूर असलेल्या टोंकांत सजातीय विद्युज्जागृति उत्पन्न होते असें सिद्ध होतें.

वाहकांमधील ऋणविद्युत्कण एका परमाणूंतून मोकळे सुटतात व दुसऱ्यांत शिरतात आणि ही क्रिया सारखी चालू असते. त्यामुळे कोणत्याहि वेळीं प्रत्येक वाहकांत बरेच ऋणविद्युत्कण मोकळे असतात आणि ते ज्या परमाणूंतून निघतात ते परमाणू धनजागृत असतात. सबंध वाहकाचा विचार केल्यास तो धन किंवा ऋण जागृत असत नाहीं; पण असा वाहक धनजागृत पदार्थाजवळ आणल्यास वाहकाच्या जागृत पदार्थाकडील टोंकांकडे मोकळें असलेले ऋणविद्युत्कण ओढले जातात व स्थिर धनजागृत परमाणू दुसरीकडे शिल्लक रहातात. उलट तो ऋणजागृत पदार्थाजवळ आणल्यास ऋणविद्युत्कण जागृत पदार्थापासून दूर असलेल्या टोंकाकडे ढकलले जातात व त्यांचेजवळ असलेल्या टोंकांत धनजागृत परमाणू मोकळे सुटतात. जागृत पदार्थ दूर केल्यास वाहक पुन: अजागृत होतो कारण ऋणविद्युत्कण धनजागृत परमाणूंकडे त्यांच्यामधील आकर्षणामुळें ओढले जातात याप्रमाणें विद्युत्प्रवर्तन होते.

प्रवर्तित धन व ऋण जागृती समप्रमाणांत असतात.

प्रयोग १३९—'अ' आणि 'ब' हे धातूंचे दोन गोळे रेशमी दोऱ्याने एका कांचेच्या दांडीवर टांगा व एकमेकांस चिकटवून ठेवा. 'क' हा धनजागृत कांचेचा दांडा 'ब' गोळ्याजवळ आणा. मागें सांगितल्याप्रमाणें 'ब' ऋणजागृत व 'अ' धनजागृत होईल. गोळे एकमेकांस चिकटलेले असतांच 'क' दांडा त्यांचेपासून लांब न्या. जागृत



आकृति १२१

केलेल्या विद्युद्दर्शकानें ते जागृत आहेत किंवा नाहींत हें पाहा. दोन्हीहि गोळे निजागृत झालेले आहेत असें दिसेल. ' अ ' वरील धनविद्युत् आणि ' ब ' वरील ऋणविद्युत् या एकमेकींचा नाश करतात व दोन्ही गोळे निर्जागृत होतात.यावरून प्रवर्तित धन व ऋण जागृती सम प्रमाणांत असतात.

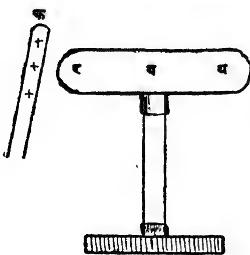
प्रवर्तनानें रोधित वाहक जागृत करणें.

प्रयोग १४०—वरील प्रयोगांतील 'क' हा धनजागृत दांडा गोळयाजवळ असतां 'अ' आणि ' ब ' हे गोळे त्यास बांधलेल्या रेशमी दोऱ्याच्या सहाय्यानें एकमेकांपासून दूर करा व नंतर ' क ' दांडा दूर न्या. विद्युद्दर्शकाच्या सहाय्यानें ते जागृत आहेत किंवा नाहींत तें पाहा. ' अ ' गोळा धनजागृत असून ' ब ' हा गोळा ऋण जागृत आहे असें तुम्हांस दिसेल.

यावरून असें सिद्ध होतें कीं, विद्युज्जागृत पदार्थ रोधित वाहकाजवळ असतांच जर वाहकाचे दोन भाग केले तर ते दोन्ही भाग जागृत होतात आणि त्याच्या जागृत पदार्थाकडील भागांत विजातीय व दुसऱ्या भागांत सजातीय विद्युज्जागृति असते.

' क ' हा धनजागृत दांडा जवळ असल्यानें ' अ ' मधील विद्युत्कण ' ब ' कडे ओढले जातात. 'अ' मधील विद्युत्कण कमी झाले म्हणजे ' अ ' धनजागृत होतो , व ' ब ' मध्यें त्याची संख्या वाढल्यानें तो ऋणजागृत होतो.

प्रयोग १४१–'ब' या रोधित वाहकाजवळ'क' हा धनजागृत दांडा आणा.



आकृति १२२

दांडा जवळ असतांच 'ब' या वाहकाच्या 'य' टोंकास बोट लावा. बोट दूर करून ' क ' दांडा दूर न्या. ' ब ' जवळ ऋणजागृत विद्युद्दर्शक यंत्र आणा. विद्युद्दर्शकावर त्याचा काय परिणाम होतो तो पाहा. त्यांचीं पानें फांकतात असें दिसेल; म्हणजे ' ब ' हा वाहक ऋणजागृत आहे हें सिद्ध होईल.

या प्रयोगांत प्रयोग करणाऱ्या माणसाचा हात हा मागील प्रयोगांतील ' अ ' गोळ्या

सारखा आहे व हात दूर करणें म्हणजे वाहकाचे दोन भाग करण्यासारखें आहे, म्हणून धनजागृत 'क' दांड्याजवळील 'ब' हा वाहक ऋणजागृत राहतो.

हाच प्रयोग पुनः करा पण यावेळीं हात 'य' टोंकास न लावतां 'र' टोंकास लावा. व 'ब' वरील जागृति कोणत्या प्रकारची आहे हें विद्युद्दर्शकाच्या सहाय्यानें तपासून पाहा. ती जागृति पूर्वीप्रमाणें ऋणच आहे असें तुम्हांस दिसेल.

यावरून असें सिद्ध होतें कीं जागृत पदार्थाजवळ असलेल्या रोधित वाहकास कोठेंहि स्पर्श केला तरी त्यावर प्रवर्तित झालेली सजातीय विद्युतच नाहीशी होते पण प्रवर्तित झालेली विजातीय विद्युत् त्यावरच कायम असते.

'क' हा धनजागृत दांडा 'ब' या रोधित वाहकाजवळ असल्यानें त्यास कोठेंहि हात लावला तरी हातांतील ऋण विद्युत्कण 'ब' मध्यें ओढले जातात. हे विद्युत्कण 'क' हा धनजागृत दांडा जवळ असेतों त्यांतील धनजागृतीच्या आकर्षणामुळें 'ब' मधून बाहेर जाऊं शकत नाहींत अथवा बद्ध असतात. 'ब' मध्यें त्यांचें प्रमाण वाढल्यानें तो ऋण जागृत होतो. तसेंच 'क' दांडा जर ऋणजागृत असता तर विद्युत्कण 'ब' मधून हाताकडे ढकलले गेले असते व त्यांचें 'ब' मधील प्रमाण कमी झाल्यानें तो धनजागृत झाला असता.

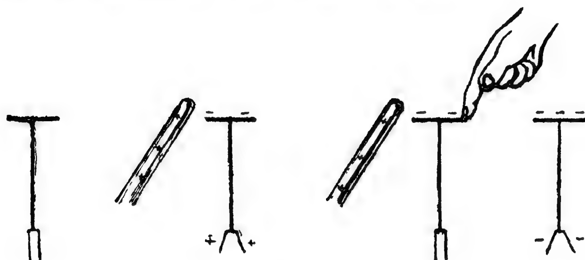
अथवा

'क' हा धनजागृत दांडा 'ब' या रोधित वाहकाजवळ असल्यानें 'ब' च्या 'क' कडील भागांत ऋण विद्युत् व 'क' पासून दूर असलेल्या भागांत धनविद्युत् याप्रमाणें विद्युत् प्रवर्तित होतात. 'क' जवळील भागांत प्रवर्तित झालेली ऋणविद्युत 'क' मधील धनविद्युत्नें आकर्षिलेली असल्यानें बध्द असते. पण 'क' पासून दूर असलेल्या भागावरील धनविद्युत् 'क' मधील विद्युत्नें प्रतिसारलेली असल्यानें मोकळी असतें. 'ब' ला हात लावतांच मुक्त धन विद्युत् (free positive charge) हातांतून जमीनींत जाते व बध्द ऋण विद्युत् (bound negative charge) 'ब'' वरच राहते. 'क' दूर करतांच या ऋणविद्युत्ला आकर्षण करणारी शक्ति

नाहीशी होते व त्यामुळें ती (ऋण विद्युत्) सर्व वाहकावर पसरते व ' ब ' हा वाहक ऋण जागृत होतो.

प्रवर्तनानें विद्युद्दर्शक यंत्र जागृत करणें.

प्रयोग १४२:—रेशमानें घांसलेला कांचेचा दांडा विद्युद्दर्शकाच्या चकतीजवळ आणा. दांडा तेथेंच असतां चकतीस हात लावा. हात चकतीपासून दूर करा व नंतर दांडा काढून घ्या. विद्युद्दर्शकाच्या पानांचें नीट निरीक्षण करा. फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा विद्युद्दर्शकाजवळ आणा. विद्युद्दर्शकाचीं पानें अधिक फांकतात असें दिसेल. म्हणजे विद्युद्दर्शक यंत्र ऋणजागृत झालें आहे असें सिद्ध होईल.



आकृति १२३

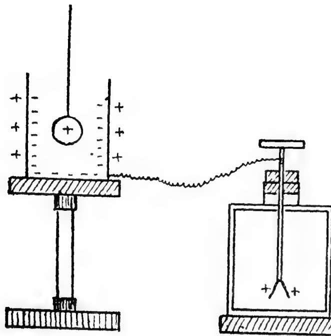
धनजागृत कांचेचा दांडा चकतीजवळ येतांच प्रवर्तनामुळें चकती ऋण विद्युत्नें व पानें धन विद्युत्नें जागृत होतात. पानें सजातीय विद्युत्नें जागृत झाल्यामुळें फांकतात. चकतीस हात लावतांच हातांतील ऋण विद्युत्कण पानावरील धनविद्युत्कडे ओढले जातात व पानावरील धनविद्युत् नाहीशी करतात व म्हणून पानें मिटतात. हात चकतीवरून काढल्यावर, चकतीवरील ऋण विद्युत् धनजागृत दांड्याच्या आकर्षणामुळें बद्ध असते म्हणून तेथेंच राहाते व पानांत दुसरी जागृति नसल्यानें पानें मिटलेलींच राहातात. दांडा दूर करतांच चकतीवरील बद्ध ऋण विद्युत् सर्व वाहकावर पसरते, यंत्र ऋण विद्युत्जागृत होतें व पानें फांकतात.

विद्युद्दर्शक यंत्र धनजागृत करावयाचें असल्यास कांचेच्या दांड्याऐवजीं फ्लॅनेलनें घांसलेला इबोनाइटचा दांडा वापरतात.

प्रवर्तित विद्युत्, प्रवर्तक विद्युत्च्या बरोबर असते.

फॅरडेचा प्रयोग—

प्रयोग १४३:—धातूचें एक पोकळ उभट भांडें अथवा टिनाचा गोल डबा घेऊन रोधक आधारावर ठेवा. त्याला विद्युद्दर्शकाच्या चकतीशीं तारेनें जोडा. रेशमी दोऱ्यानें टांगलेला एक पितळी गोळा धन जागृत करून भांड्याच्या बाजूस स्पर्श न करतां लोंबत ठेवा. गोळा हळूहळू आंत सोडा. म्हणजे विद्युद्दर्शकाचीं पानें फांकलेलीं दिसतील. गोळा विशिष्ट मर्यादेपर्यंत आंत जाईतों पानें अधिकाधिक फांकतात पण गोळा अधिक आंत सोडल्यास मात्र पानें अधिक फांकत नाहींत असें दिसेल.



आकृति १२४

धन जागृत गोळा भांड्यांत लोंबत असल्यानें भांड्याचे आंतील बाजूस ऋण व बाहेरील बाजूस धन विद्युत् प्रवर्तनानें उत्पन्न होते. भांडें विद्युद्दर्शकाशीं जोडलेलें असल्यानें विद्युद्दर्शकाचीं पानें धनविद्युत्नें जागृत होतात व फांकतात.

गोळा भांड्यांतून बाहेर काढतांच विद्युद्दर्शकाचीं पानें मिटतात म्हणजे यंत्र निर्जागृत होते व गोळ्याचें परीक्षण केल्यास तो पूर्ववत् जागृत आहे असें दिसतें.

गोळा बाहेर काढल्यास विद्युद्दर्शक निर्जागृत होते म्हणजे आंतले बाजूस असलेली प्रवर्तित ऋण विद्युत् व बाहेरील बाजूस असलेली प्रवर्तित धन विद्युत् या एकमेकींस पूर्णपणें निष्क्रिय करतात.

यावरून **प्रवर्तित धन व ऋण विद्युत् समसमान असतात हें सिद्ध होतें.**

प्रवर्तक आणि प्रवर्तित विद्युत समसमान असतात.

प्रयोग १४४:—गोळा पुनः पूर्ववत् भांड्यांत लोंबत सोडा. पानें पूर्वी प्रमाणेंच पुनः फांकतात असें दिसेल. गोळा भांड्याच्या बुडास टेकू द्या व पानावर काय होणारा परिणाम होतो तो पाहा. पानें जशींच्या तशींच फांकलेलीं राहातात असें दिसेल. गोळा बाहेर काढून तो विद्युज्जागृत आहे किंवा नाहीं तें पाहा. त्याचप्रमाणें भांड्याच्या आंतील बाजूस कांहीं जागृति आहे किंवा नाहीं हेंहि परिक्षापत्राचे सहाय्यानें पाहा. गोळा व भांड्याची आंतील बाजू दोन्हीहि निर्जागृत झाल्याचें आढळून येईल.

यावरून गोळ्यावरील धनविद्युत् व भांड्याचे आंतील बाजूस असलेली प्रवर्तित ऋणविद्युत् या एकमेकींना पूर्णपणें निष्क्रिय करतात म्हणून त्या समसमान असतात. बाहेरील धन विद्युत् तशीच कायम असल्यानें पानें तशींच फांकलेलीं राहातात.

म्हणून प्रवर्तक धन विद्युत् = प्रवर्तित ऋण विद्युत्.
पण प्रवर्तित ऋण विद्युत् = प्रवर्तित धन विद्युत्.
प्रवर्तक धनविद्युत = प्रवर्तित धन विद्युत.

वरील प्रयोगावरून दिसून येईल कीं, या एकाच पद्धतीनें रोधित वाहकावरील सर्व विद्युत् दुसऱ्या रोधित वाहकास देतां येते.

चुंबकत्व आणि घर्षणजन्य (स्थिर) विद्युत् यांची तुलना.

(१) विद्युज्जागृत पदार्थ व अजागृत पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असतें.	चुंबक व चुंबकीय पदार्थ यांचेमधील आकर्षण परस्पर असतें.
(२) सजातीय विद्युत्नें जागृत असलेले पदार्थ एकमेकांस प्रतिसारतात.	सजातीय चुंबक ध्रुव एकमेकांस प्रतिसारतात.
(३) विजातीय विद्युत्नें जागृत असलेलें पदार्थ एकमेकांस आकर्षण करतात.	विजातीय चुंबक ध्रुव एकमेकांस आकर्षण करतात.

(४) रोधित अजागृत वाहका-जवळ जागृत पदार्थ आणल्यास त्याच्या जागृत पदार्थाकडील टोंकांत विजातीय व दूरचे टोंकांत सजातीय जागृति उत्पन्न होते. ही जागृति जागृत पदार्थ जवळ असे-तों असते. जागृत पदार्थ वाहका जवळून दूर नेल्यास ती नाहींशी होते.

अथवा

प्रवर्तनामुळें वाहकाच्या दोन्ही टोंकांत प्रवर्तित झालेल्या धन आणि ऋण विद्युत् समप्रमाणांत असतात.

(५) रोधित वाहकाजवळ जागृत पदार्थ असतां वाहकास (१) हात लावला तर वाहक विरुद्ध प्रकारचे विद्युत्नें जागृत होतो. आणि (२) वाहकाचे दोन भाग केले तर एका भागावर एका प्रकारची व दुसऱ्या भागावर दुसऱ्या प्रकारची जागृति उत्पन्न होते. ही जागृति जागृत पदार्थ वाहकापासून दूर नेला तरी वाहकावर कायमच असते.

(६) कोणताहि पदार्थ रोधित केल्यास घर्षणानें विद्युज्जागृत करतां येतो.

(७) विद्युत् एका वाहकांतून दुसऱ्या वाहकांत स्पर्शानें जाते.

चुंबकीय पदार्थाजवळ चुंबक आणल्यास चुंबकीय पदार्थाच्या-चुंबका जवळील टोंकांत विजा-तीय चुंबक ध्रुव व दूरचे टोंकांत सजातीय ध्रुव उत्पन्न होतो. हें चुंब-कत्व चुंबक जवळ असे तों असतें. पण चुबक ध्रुव दूर नेल्यास तें नाहींसें होते.

अथवा

प्रवर्तनामुळें चुंबकीय पदार्थाच्या दोन्ही टोंकांत उत्पन्न झालेली ध्रुव शक्ति सम प्रमाणांत असते.

चुबक ध्रुव जवळ असतां चुंब-कीय पदार्थास स्पर्श करून त्यांत एकच प्रकारचे चुंबकत्व आणतां येत नाहीं व त्यांतील चुंबकत्वहि कायम ठेवतां येत नाहीं.

चुंबकीय पदार्थाखेरीज इतर पदा-र्थांत चुंबक घांसून चुंबकत्व आणतां येत नाहीं.

चुंबकीय ध्रुव स्थिर असतात. चुंब-काखेरीज इतर पदार्थांचा त्यावर कांहींच परिणाम होत नाहीं.

प्रश्न संग्रह १५ वा.

(१) विद्युत्प्रवर्तन म्हणजे काय ? धनजागृत विद्युद्दर्शक यंत्राजवळ ऋण जागृत दांडा आणीत असतां पानें पहिल्यानें मिटतांना दिसतात पण दांडा फारच जवळ आला म्हणजे ती पुनः फांकतात याचे कारण काय ?

(२) प्रवर्तनानें रोधित वाहकावर एकाच वेळीं दोन विरुद्ध प्रकारच्या जागृती समप्रमाणांत उत्पन्न होतात हें कसें सिद्ध कराल ? प्रयोग लिहा.

(३) धनजागृत दांडा दिला असतां प्रवर्तनानें दुसरा रोधित वाहक धनजागृत करावयाचा असल्यास काय कराल ?

(४) 'अ' आणि 'ब' या विद्युद्दर्शकांच्या चकत्या एकमेकींस लांब तारेनें जोडल्या आहेत. 'अ' जवळ धनजागृतवाहक आणला तर दोन्ही विद्युद्दर्शकांत काय दिसेल ? त्यापैकीं 'अ' किंवा 'ब' ला स्पर्श केल्यास त्यांत काय फरक होईल ?

(५) ऋणजागृत दांड्याच्या सहाय्यानें विद्युद्दर्शक यंत्र धनजागृत करतांना ज्या निरनिराळ्या कृति (steps) तुम्ही कराल त्या आकृती काढून समजाऊन सांगा.

(६) प्रवर्तक धन विद्युत् = प्रवर्तित ऋण विद्युत् = प्रवर्तित धन विद्युत् हें समीकरण तुम्ही कसें सिद्ध कराल ?

(७) रोधित आधारावर एक पोकळ धातूचा डबा ठेवलेला असून तो विद्युद्दर्शकाशीं तारेनें जोडलेला आहे. त्यांत त्याला स्पर्श करणार नाही अशा रीतीनें एक जागृत गोळा लोंबत ठेवला आहे. तर पुढील स्थितींत विद्युद्दर्शकाच्या पानांत कसकसा फरक होईल तें सकारण सांगा.
(१) भांड्यांत गोळा लोंबत सोडला तर (२) आंत गोळा लोंबत असतां भांड्यास स्पर्श केला तर (३) बोट काढून घेतलें तर (४) गोळा काढून घेतला तर.

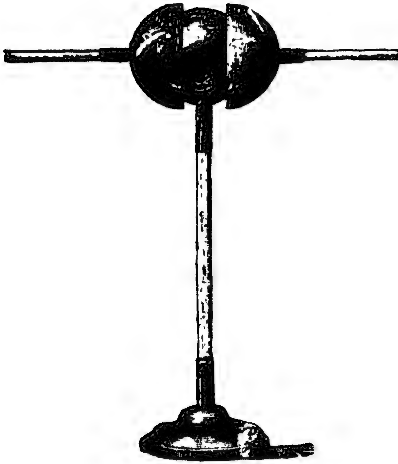
(८) घर्षणजन्य विद्युत् व चुंबकत्व यांच्यांतील साम्य व भेद दाखवा.

प्रकरण १६ वें.

वाहकावरील विद्युतचे स्थान व विभागणी.

विद्युत् नेहमी वाहकाच्या बाहेरील पृष्ठभागावरच असतेः—वायटचा प्रयोग.

प्रयोग १४५—रोधित पितळी गोळा घेऊन त्यास चांगले जागृत करा त्यांवर बरोबर बसतील असे, रोधक मुठी असलेले, दोन पितळी अर्धगोल घ्या. रोधक मुठींनीं धरून हे अर्धगोल गोळ्याचें बाहेरून एकमेकांस चिकटवून ठेवा. अर्धगोल काढून घ्या व ते जागृत झाले आहेत का हे विद्यु-द्दर्शकानें पाहा. त्याचप्रमाणें गोळ्याचेहि परीक्षण करा. अर्धगोल जागृत झालेले असून गोल निर्जागृत झाला आहे असें दिसेल.

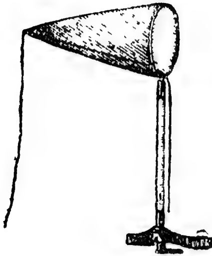


आकृति १२५

प्रयोग १४६:—एक खोल टिनाचा डबा घेऊन तो रोधक पदार्थाच्या बैठकीवर ठेवा, व त्यास जागृत केलेल्या इब्रोनाइटच्या दांड्यानें अथवा विद्युदुत्पादक यंत्राच्या साहाय्यानें चांगला जागृत करा. परीक्षापत्र (proofplane) डब्याचे आंतील बाजूस अथवा बुडास लावून विद्युद्दर्शका-जवळ आणा व पानें फांकतात कां पाहा. ती फांकत नाहींत असें दिसेल. म्हणजे आंतलें बाजूस जागृति नाहीं असें सिद्ध होईल. परीक्षापत्र आतां डब्याचें बाहेरील अंगास लावा व विद्युद्दर्शकांजवळ आणा. विद्युद्दर्शकाची

पानें फांकतात का पाहा. या वेळीं पानें फांकतात म्हणजे बाहेरील भागावर जागृति आहे असें दिसेल.

प्रयोग १४७:–आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें फुलपांखरें धरण्याच्या जाळ्यासारखें एक लहान जाळे कांचेच्या आधारावर बसवा. त्याच्या टोकांतून लांब रेशमी दोरा अशा रीतीनें घाला कीं, त्याचें एक टोंक ओढल्यानें जाळ्याची आंतील बाजू बाहेर व दुसरे टोंक ओढल्यानें बाहेरील बाजू आंत आणतां येईल. जाळें विद्युदुत्पादक यंत्रानें जागृत करा. परीक्षा पत्र त्याच्या आंतील बाजूस लावा व विद्युद्दर्शक यंत्राजवळ आणा. विद्युद्दर्शकाची पानें फांकतात का पाहा. तीं फांकत नाहींत असें दिसेल. परीक्षा पत्र जाळ्याच्या बाहेरील बाजूस लावून विद्युद्दर्शकाजवळ आणा व पानें फांकतात कां पाहा. यावेळीं तीं फांकतांना दिसतील. यावरून बाहेरील बाजूस जागृति असून आंतलें बाजूस जागृति नाहीं असें दिसेल.



आकृति १२६

रेशमी दोरा ओढून आंतील अजागृत बाजू बाहेर व बाहेरील जागृत बाजू आंत करा. पूर्वीप्रमाणेंच जाळ्याची आंतील व बाहेरील बाजू तपासून पाहा. यावेळीं देखील आंतील बाजू अजागृत असून बाहेरील बाजू जागृत आहे असें दिसेल. यावरून जाळ्याची जागृत बाजू जरी आंत नेली तरी तिच्यावर विद्युज्जागृति राहत नाही,ती बाहेर आलेल्या बाजूवरच येते असें दिसून येईल.

वरील तीनहि प्रयोगांवरून असें सिद्ध होतें कीं विगृतची प्रवृत्ति नेहमीं बाहेरील पृष्ठभागावरच राहण्याची असते.

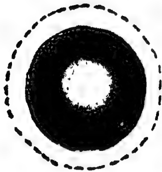
ज्या लहान लहान भागांची मिळून वाहकांवरील एकंदर जागृति (charge) झाली आहे ते सर्व सजातीय असल्यानें एकमेकांस दूर लोटतात व वाहकांवर जितक्या अधिक अंतरावर त्यांस राहता येणें शक्य असेल तितक्या अधिक अंतरावर म्हणजे वाहकाच्या बाहेरील पृष्ठभागावर ते राहातात म्हणून विद्युज्जागृति वाहकाच्या बाहेरील पृष्ठभागावर असते.

विद्युत् नेहमीं वाहकाच्या बाहेरील पृष्ठभागावर असते ही गोष्ट सिद्ध करण्याकरतां फॅरडेनें एक फारच निर्णायक प्रयोग केला. त्यानें आपणास आपलें विद्युद्दर्शक यंत्र घेऊन बसतां येईल येवढी लांकडी पेटी करवून घेऊन, तिला आंतून व बाहेरून पत्रा मढविला होता. या पेटीस घराप्रमाणें दारें व खिडक्याहि होत्या. ही पेटी कांचेच्या आधारावर ठेऊन तो आपलें विद्युद्दर्शक यंत्र घेऊन या पेटींत बसला व अत्यंत शक्तिमान विद्युद्यंत्रानें ती जागृत केली. तिचेवर तीव्र जागृति असल्यानें बाहेरील भागावरून सर्वभर विद्युत्च्या ठिणग्या निघतांना दिसू लागल्या; पण आंतील विद्युद्दर्शकावर काहींच परिणाम झालेला दिसला नाहीं.

विद्युत्च्या,वाहकाच्या बाहेरील पृष्ठभागावर राहण्याच्या गुणधर्माचा उपयोग **विद्युत्प्रभाव विच्छेदक पडदा** (Electrical screen) तयार करण्याकरितां करतात. अत्यंत नाजूक विद्युद्दर्शक यंत्र तारेच्या जाळीच्या पिंजऱ्यात ठेवल्यास त्यावर प्रचंड विद्युत् शक्तीचा देखील कांहीं परिणाम होत नाहीं.

विद्युत्ची वाहकाच्या पृष्ठभागावरील विभागणी

प्रयोग १४८:—एक रोधित गोळा घ्या. त्यास चांगला जागृत करा. त्यास एके ठिकाणीं परीक्षापत्र लावून ते विद्युद्दर्शकाच्या चकतीस लावा व पानें किती फांकतात तें पाहा. परीक्षापत्र व विद्युद्दर्शक हात लावून निर्जागृत करा. परीक्षापत्र त्याच गोळयास दुसऱ्या जागीं लावून पूर्वीप्रमाणें विद्युद्दर्शकाच्या चकतीस लावा व पानें किती फांकतात तें पाहा. तीं पूर्वींइतकींच फांकतात असें दिसेल.

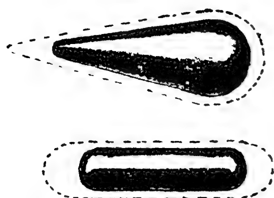


आकृति १२७

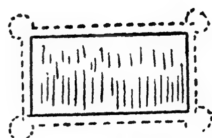
यावरून गोळयाच्या पृष्ठभागावर विद्युत् सर्वभर सारख्याच प्रमाणांत पसरलेली असते, अथवा गोळयावरील **विद्युद्घनता** सगळीकडे सारखी असते हें सिद्ध होते.

प्रयोग १४९:—आकृतीमध्यें दाखविलेल्या आकाराचे रोधित वाहक घ्या व त्यांवर वर सांगितल्याप्रमाणें प्रयोग करा. तुम्हांस असें आढळेल कीं, त्यांच्यावरील विद्युद्घनता निरनिराळया ठिकाणीं निरनिराळी असते

व टोंकाच्या ठिकाणीं ती सर्वांत जास्त असते. प्रत्येक वाहकाच्या



आकृति १२८

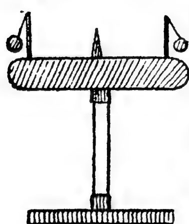


आकृति १२९

पृष्ठभागावर विद्युत्‌ची वांटणी कशी होते हें आकृतींत तुटक रेषांनीं दाखविलें आहे.

टोंकाचें निर्जागृत करण्याचें कार्य.

प्रयोग १५०:—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें भेंडाच्या गोळया लावलेल्या रोधित वाहकास एक सुई चिकटवा. त्यास विद्युदुत्पादक यंत्राच्या सहाय्यानें जागृत करा. म्हणजे गोळया वाहकापासून दूर लोटल्या जातील. यंत्र थांबवून वाहकास विद्युत् पुरविणें बंद करा व वाहकास लाविलेल्या गोळयावर काय परिणाम होतो तो पाहा. यंत्र थांबवून विद्युत् पुरविणें बंद करतांच दर्शक गोळया त्यास एकदम चिकटतात म्हणजे त्यावरील जागृति एकदम नाहींशी होते असें दिसेल. वाहकास लावलेली सुई काढून टाका, त्यास पुनः जागृत करा व यंत्र बंद करा. भेंडाच्या गोळया त्यास पूर्वीप्रमाणें तावडतोब चिकटतात का पाहा. त्या त्यास पूर्वीप्रमाणें तावडतोब चिकटत नाहीत असें दिसेल. यावरून वाहकास निर्जागृत करण्याचें काम सुईमुळेंच होतें असें दिसतें.

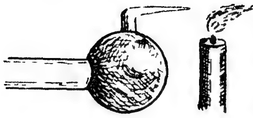


आकृति १३०

वरील प्रयोगावरून असें दिसून येईल कीं टोंक असलेला वाहक जागृत केल्यास त्यावरील विद्युत् टोंकांमुळें तावडतोब नाहींशी होते.

प्रयोग १५१:—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें टोंक असलेला रोधित वाहक घेऊन तो विद्युदुत्पादक यंत्राशी तारेनें जोडा. वाहकाच्या टोंकासमोर

ज्योत येईल अशारीतीनें एक जळती मेणबत्ती त्याचे जवळ ठेवा. यंत्र



आकृति १३१

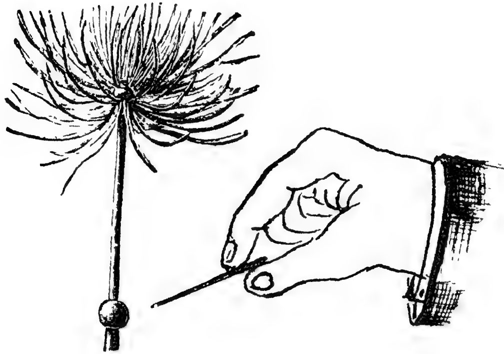
सुरू करा व ज्योत सरळ जळते का पाहा. ती सरळ जळत नसून वाहकाच्या टोंका-कडून तिला वारा लागत असतां ती जशी वांकडी व्हावी तशी वांकडी होते. असें दिसेल.

वरील प्रयोगांत सुईच्या टोंकावर विद्युद् घनता इतकी जास्त होते कीं वाहकातील विद्युत् त्या टोंकातून हवेंत जाऊं लागते. टोंक धनजागृत असल्यास त्याचे जवळील हवेचें आयनीभवन (Ionisation) होऊन विद्युत्कण (Electrons) त्या टोकांकडे ओढले जातात व हवा धनजागृत होते व दूर लोटली जाते. विद्युत्कण त्याचेकडे ओढले गेल्यामुळें तो वाहक निर्जागृत होतो . याचे उलट वाहक ऋणजागृत असल्यास टोंकाजवळील हवेच्या कणांमधील विद्युत्कण दूर लोटले जातात, म्हणजे ऋणजागृत हवा टोंकापासून दूर लोटली जाते व धनजागृत हवा त्याचेकडे ओढली जाऊन तो निर्जागृत होतो. अथवा ज्या प्रकारची विद्युज्जागृति वाहकावर आहे त्याच प्रकारच्या जागृतीनें त्याला लागून असलेली हवा—वहन पद्धतीनें (Conduction)—जागृत होते व ती सजातीय विद्युत्नें जागृत झाल्यामुळें जोरानें दूर लोटली जाते. हवा वहनानें जागृत होत असल्यामुळें वाहकांतील विद्युत् कमी कमी होते व ही क्रिया वाहक निर्जागृत् होईतों चालू असते.

प्रयोग १५२:—धनजागृत विद्युद्दर्शकाच्या चकतीजवळ सुईचें टोंक आणा व विद्युद्दर्शकावर काय परिणाम होतो तो पाहा. विद्युद्दर्शकाचीं पानें एकदम मिटतात असें दिसेल. सुईचें टोंक प्रवर्तनानें ऋणजागृत होतें व ऋणविद्युत्नें जागृत झालेली हवा यंत्राकडे लोटते म्हणून यंत्र निर्जागृत होतें. या तत्त्वावर एक गमतीचा प्रयोग करतां येतो.

प्रयोग १५३:—रोधित वाहकाच्या गोळ्यास कागदी पट्ट्यांचा एक पुंजका लावा व गोळ्यास जागृत करा. कागदी पट्ट्या सजातीय विद्युत्नें

जागृत झाल्यामुळें सगळीकडे पसरलेल्या दिसतील. हातांत सुइ धरून तिचें



आकृति १३२

टोंक वाहकाजवळ आणा व कागदी पट्ट्यावर काय परिणाम होतो तो पाहा त्या पट्ट्या अजागृत होऊन एकदम पडतात असें दिसेल.

वीजवाहक (Lightning Conductors)

वीज वाहकांचे कार्य याच तत्त्वावर अवलंबून असते.

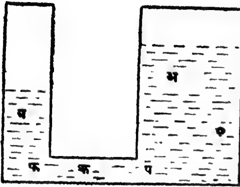
मोठमोठ्या घरांवर वीज पडून त्यांचे नुकसान होऊं नये म्हणून त्यांचे बाजूस एक धातूची पट्टी अथवा जाड तार लावलेली असते. हिला **वीज वाहक** म्हणतात. याचे वरचे टोंक घराच्या अत्युच्च बिंदुपेक्षां उंच असून खालचें टोंक जमीनींत पुरलेलें असतें. हा चांगला कार्यक्षम व्हावा म्हणून याच्या वरच्या टोंकास एक किंवा अनेक टोंकें असून खालच्या टोंकास एक मोठा धातूचा पत्रा लावलेला असतो.

कार्यः—घरावर विद्युद्जागृत ढग आला म्हणजे वीज वाहकाचें टोंक विरुद्ध प्रकारच्या विद्युत्नें जागृत होतें. ही विद्युत् वर सांगितल्याप्रमाणें वाहकाच्या टोंकांकडून ढगाकडे जाते व त्यास निर्जागृत करते. यामुळें घराभोंवती तीव्र (Strong) विद्युत् संचय होत नाही व वीज पडत नाहीं. परंतु कित्येकवेळां अत्यंत थोडया वेळांत ढगांमध्यें इतकी वीज उत्पन्न होते कीं, त्यांना निर्जागृत करण्याचे काम टोंकें तितक्या जलद करूं शकत

नाही व म्हणून वीज पडते. ही वीजवाहकांतून जमीनीत निघून जाते. अशा रीतीनें जेव्हां तारेंतून वीज जाते तेव्हां तार बारीक असल्यास तिला जमिनींत जाण्यास अडथळा होतो व त्यामुळें तार गरम होऊन वितळते. वीज जमिनींत जातानां वीजवाहक वितळून तुटूं नये म्हणून वीजवाहक चांगला जाडहि असावयास पाहिजे.

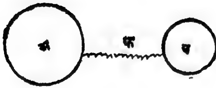
विद्युद्दाब आणि विद्युद्धारणशक्ति (Potential and Capacity).

'अ' आणि 'ब' हीं टांकीं 'क' नळानें जोडलेलीं आहेत. 'अ' मधून 'ब' मध्यें जेव्हां पाणी वाहातें तेव्हां 'प' येथील दाब 'फ' येथील दाबापेक्षां अधिक असतो, म्हणजे पाणी वाहण्याची क्रिया 'प' आणि 'फ' या दोन ठिकाणच्या पाण्याच्या दाबांत असणाऱ्या फरकावर अवलंबून असते.



आकृति १३३

'अ' आणि 'ब' हे रोधित वाहक एकमेकांस 'क' या तांब्याच्या तारेनें जोडलेले असून जेव्हां धनविद्युत् 'अ' मधून 'ब' मध्यें जाते. ('ब' मधून विद्युत्कण 'अ' मध्यें जातात) तेव्हां 'अ' वरील विद्युद्दाब 'ब' वरील विद्युद्दाबापेक्षां जास्त आहे असें म्हणतात. विद्युत् वाहण्याची क्रिया ही पाण्याप्रमाणेंच दोन ठिकाणच्या विद्युद्दाबांत असणाऱ्या फरकावर अवलंबून असते. ज्याप्रमाणें पाणी, पाण्याचा अधिक दाब असलेल्या ठिकाणाकडून पाण्याचा कमी दाब असलेल्या ठिकाणाकडे वाहतें, त्याचप्रमाणें वीज ही अधिक विद्युद्दाब असलेल्या ठिकाणाकडून कमी दाब असलेल्या ठिकाणाकडे वाहते.



आकृति १३४

ज्याप्रमाणें 'अ' टाक्यांत सारखें पाणी ओतलें नाहीं तर कांहीं वेळानें 'अ' आणि 'ब' मधील पाण्याची पातळी एक होते म्हणजे 'प' आणि 'फ' या ठिकाणीं असलेला पाण्याचा दाब सारखा होतो, व पाणी वाहण्याची क्रिया बंद होते त्याप्रमाणेंच जर 'अ' या वाहकास सारखी

वीज पुरविली नाही तर ' अ ' आणि ' ब ' वरील विद्युद्दाब सारखा होतो व वीज वाहण्याची क्रिया बंद होते. निरनिराळे रोधित वाहक जागृत करून एकमेकांस तारेनें जोडलेले असून सुद्धां, त्यांमध्यें जर एकांतून दुसऱ्यांत वीज वाहण्याची क्रिया होत नसेल तर, अथवा विद्युत् स्थिर असेल तर, त्या सर्व वाहकांवरील विद्युत्दाब सारखाच असतो.

ज्याप्रमाणें ' अ ' टांक्यांत पाणी सारखें ओतलें व ' ब ' मधून काढून घेतलें तर ' प ' येथील पाण्याचा दाब ' फ ' येथील पाण्याच्या दाबापेक्षा नेहमी जास्त राहील आणि म्हणून ' अ ' टांक्यांतून ' क ' नळावाटे ' ब ' मध्यें सारखे पाणी वाहील, त्याचप्रमाणें जर ' अ ' हा रोधित वाहक विद्युदुत्पादक यंत्राशीं व ' ब ' जमीनीशीं याप्रमाणें जोडलेले असतील तर ' अ ' आणि ' ब ' यांच्या विद्युद्दाबांत नेहमीच फरक राहील व तारेंतून वीज सारखी वाहील.

विद्युद्दाबांतील फरक मोजण्याची रीत.

विद्युद्दर्शकयंत्र रोधक आधारावर ठेवून ज्या दोन वाहकांवरील विद्यु-द्दाबामधील फरक मोजावयाचा असेल त्यांपैकीं एक विद्युद्दर्शकाच्या चकतीस व दुसरा विद्युद्दर्शकाच्या डब्यास तारेनें जोडावा व पानें किती फांकतात तें पाहावें. पानामध्यें होणारा कोन वाहकांवरील विद्युद्दाबांत असणारा फरक दर्शवील.

पृथ्वी ही उत्तम विद्युद्वाहक असल्यानें तिच्यावर सर्व ठिकाणीं विद्यु-द्दाब सारखाच असतो. म्हणून पृथ्वी ही विद्युद्दाबांची तुलना करण्याचें एक उत्तम साधन आहे.

प्रयोग १५४:—' अ ' हा विद्युज्जागृत गोळा विद्युद्दर्शकाच्या चक-तीशी तारेनें जोडा व यंत्राचा डबा जमीनीवर ठेवा. किंवा तारेनें जमी-नीशीं सांधा व पानें किती फांकतात तें पाहा. ' अ ' गोळयाच्या ऐवजीं ' ब ' गोळा चकतीशी जोडा व विद्युद्दर्शकाचीं पानें किती फांकतात तें पाहा. ज्या गोळ्यामुळें पानें अधिक फांकतील, त्या गोळयावरील विद्यु-द्दाब दुसऱ्या गोळयावरील विद्युद्दाबापेक्षां जास्त आहे असें समजावें.

विद्युद्धारण शक्तिः—कोणत्याहि वाहकावर ठराविक विद्युद्दाब उत्पन्न करण्याकरितां जितकी विद्युत् लागते तिला त्या वाहकाची विद्युद्धारण शक्ति म्हणतात. अथवा विद्युद्धारण शक्ति = $\frac{\text{विद्युत्चें प्रमाण}}{\text{विद्युद्दाब}}$.

एक जागृत रोधित वाहक दुसऱ्या अजागृत रोधित वाहकाशी जोडल्यास अजागृत वाहक जागृत होतो व एकंदर विद्युत्ची वांटणी त्या दोहोंत होऊन दोहोवरील विद्युद्दाब सारखा होतो. विद्युत्ची वांटणी अर्थातच वाहकाच्या आकारमानाच्या प्रमाणांत होते म्हणजे, मोठया वाहकावर एकंदर विद्युत् जास्त असते व लहानावर कमी असते.

प्रयोग १५५ः—रोधित आधारावर बसविलेले दोन निरनिराळ्या आकाराचे (Size) गोल वाहक घ्या. त्यांपैकीं एक जागृत करा व दुसरा त्यास चिकटवून ठेवा. परीक्षापत्र तारेनें विद्युद्दर्शकाच्या चकतीशी सांधा व दोन्ही गोळ्यांवरून तें फिरवा. पानें किती फांकतात तें पाहा. तसेंच पानांमधील कोन परीक्षापत्र निरनिराळ्या वाहकास लाविलें असतां निरनिराळा होतो कां तेंहि पाहा. कोणच्याहि वाहकांस परीक्षापत्र लाविलें तरी पानांमधील कोन सुरवातीस जेवढा असतो तेवढाच कायम राहतो असें दिसेल.

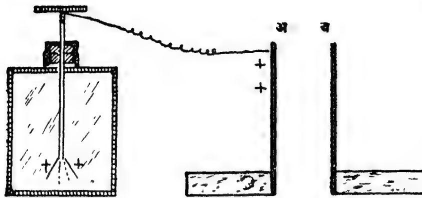
यावरून दोन रोधित वाहकांपैकीं एक जागृत करून दुसऱ्यास जोडला तर त्या दोहोंवरील विद्युद्दाब सारखाच होतो हें सिद्ध होतें.

प्रयोग १५६ः—निरनिराळ्या आकाराचे (Size) गोलरोधित वाहक घ्या. त्यांपैकीं एक जागृत करा व दुसरा त्यास चिकटवून ठेवा. विद्युत् दोहोंवर वांटली जाईल व दोन्ही वाहकांवरील दाब सारखा होईल. विद्युतद्दर्शकाच्या चकतीवर ठेवलेल्या पोकळ भांड्यास मोठा गोळा आंतून चिकटवा, म्हणजे त्यावरील सर्व विद्युत् विद्युतद्दर्शकास मिळेल व त्याची पानें फांकतील. तीं किती फांकतात तें पाहा. विद्युद्दर्शक अजागृत करा. मोठया गोळ्याचे ऐवजीं आतां लहान गोळा चकतीवरील भांड्यांत ठेवा व पानें किती फांकतात तें पाहा. तीं यावेळीं कमी फांकतात असें दिसेल. यावरून सारखाच विद्युद्दाब असणाऱ्या गोळ्यांपैकीं मोठया गोळ्यांत अधिक विद्युत् व लहानांत कमी याप्रमाणें विद्युत्ची वांटणी होते म्हणजे

निरनिराळया आकाराच्या (Size) वाहकांची विद्युद्धारण शक्ति एकच नसते हें सिद्ध होतें.

विद्युत् संचायक Condensors.

प्रयोग १५७:—'अ' ही धातूची पट्टी रोधक बैठकीवर बसवून विद्युद्दर्शकाच्या चकतीशी तारेनें जोडा. तशीच 'ब' ही धातूची पट्टी जमिनीला लागून राहील अशा रीतीनें बैठकीवर बसवा. 'अ' ही पट्टी धनजागृत करा व विद्युद्दर्शकाचीं पानें किती फांकतात तें पाहा. 'ब' पट्टी हळूहळू 'अ'कडे सरकवा व विद्युद्दर्शकाच्या पानांमधील कोनांत काय फरक होतो तो पाहा. 'ब' ही पट्टी 'अ'च्या जवळ येतांच विद्युद्दर्शकाची पानें मिटूं लागतात, म्हणजे 'अ'मधील विद्युत् जरी आपण काढली नाहीं तरी 'ब' जवळ आणल्यानें 'अ'वरील विद्युद्दाब कमी होतो असें दिसेल. 'ब' जवळ असतांच, विद्युदुत्पादक यंत्राच्या साहाय्यानें अथवा परीक्षापत्रानें 'अ'ला अधिक विद्युत् पुरवा. विद्युद्दर्शकाच्या पानांच्या स्थितींत काय फरक होतो तो पाहा. विद्युत् पुरवितांच पानें फाकूं लागतात व पुष्कळ विद्युत् पुरविल्यानंतर तीं पूर्वी इतकी फाकतात असें दिसेल; म्हणजे 'ब' जवळ असतांना 'अ'वरील विद्युद्दाब पूर्वी इतका करण्यास 'अ'ला अधिक विद्युत्‌ची आवश्यकता असते. यावरून असें दिसेल कीं, 'अ'जवळ पृथ्वीशीं संबंध असलेला वाहक आणल्यास 'अ'वर ठराविक विद्युद्दाब उत्पन्न करण्याकरतां पूर्वी जितकी विद्युत् लागत होती त्यापेक्षां आतां पुष्कळच अधिक विद्युत् लागते. अथवा पृथ्वीशीं संबंध असलेला वाहक 'अ'जवळ आणल्यास 'अ' या वाहकाची विद्युद्धारण शक्ति वाढते.



आकृति १३५

'अ' पट्टीजवळ 'ब' पट्टी आल्यानें 'ब' पट्टीच्या 'अ'कडील भागावर 'अ' वरील जागृतिच्या विरुद्ध म्हणजे ऋण जागृति उत्पन्न होते व 'अ' पासून दूरच्या भागावर सजातीय म्हणजे धन जागृति प्रवर्तित होते.

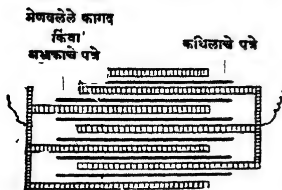
'ब' पट्टी जमिनीशीं लागलेली असल्यामुळें ही धन विद्युत् जमीनींत निघून जाते. 'अ'च्या इतर भागावरील धन विद्युत् 'ब'वरील ऋण विद्युत्च्या आकर्षणामुळें 'ब' कडील भागाकडे ओढली जाते व म्हणून विद्युत्ची 'अ' मधून विद्युद्दर्शक यंत्राकडे वाहण्याची प्रवृत्ति कमी होते. ती पूर्वी इतकी करण्याकरतां अथवा 'अ'वरील विद्युदाब पूर्वी इतका करण्याकरता 'अ' ला पुष्कळ विद्युत् पुरवावी लागते.

प्रयोग १५८:—रोधित गोल वाहक जागृत करा. त्याच्या पृष्ठ भागावर विद्युत्ची घनता सारखीच असेल. धातूची पट्टी हातांत धरून त्या गोळ्या जवळ आणा. गोळ्याच्या पट्टीकडील भागास परीक्षापत्र लावून त्या बाजूची विद्युद्घनता किती आहे हें विद्युद्दर्शकाच्या साहाय्यानें, त्याच्या पानांमधील कोन पाहून ठरवा. त्याचप्रमाणें पट्टीच्या विरुद्ध असलेल्या वाहकाच्या पृष्ठभागावरील विद्युद्घनता ठरवा. त्या भागाकडील वाहकाच्या पृष्ठभागावरील विद्युत्घनता पट्टीकडे असलेल्या वाहकाच्या पृष्ठभागावरील घनतेपेक्षां पुष्कळच कमी असते असें दिसेल.

यावरून गोळ्यांतील विद्युत्चा बराचसा भाग गोळ्याच्या पट्टीकडील भागावर आला आहे असें दिसेल.

जमीनीशीं संबंध असलेल्या वाहकाच्या सान्निध्यामुळें विद्युत्च्या त्या वाहकाच्या बाजूस जमण्याच्या प्रवृत्तीस विद्युत् संचय करणें असें म्हणतात. ज्या योजनेंत दोन वाहक एकमेकांपासून रोधक माध्यमानें विलग केलेले असल्यामुळें वाहकाची विद्युद्धारण शक्ति वाढते त्या योजनेस विद्युत्संचायक (Condensor) असें म्हणतात. या दोन वाहकांपैकीं एक जमीनीशीं सांधलेला असल्यास वाहकाची विद्युद्धारण शक्ति पुष्कळच वाढते.

संचायकाचे नेहमींचे प्रकार.



आकृति १३६

(१) साधा संचायकः—यांत कथिलाचे पुष्कळ बारीक पत्रे एकमेकांपासून मेणवलेल्या कागदांनी विलग केलेले असतात. एक सोडून एक असे पत्रे एकमेकांशीं सांधून एकंदर वाहकाचे दोन भाग केलेले असतात

व अशा रीतीनें वाहकांचा पृष्ठभाग मोठा केलेला असतो. या भागांपैकीं एक पृथ्वीशीं जोडलेला असतो.

(२) लेडन जारः—या विद्युत्संचायकांत रुंद तोंडाच्या एका बाटलीस किंवा पेल्यास बुडापासून कांहीं उंचीपर्यंत आंतून व बाहेरून कथिलाचा पत्रा लाविलेला असतो. म्हणजे दोन वाहक कांच या रोधक माध्यमानें एकमेकांपासून वेगळे केलेले असतात. बाटलीचे तोंडास एक रोधक बूच बसविलेलें असून त्यांत एक जाड पितळी तार बसविलेली असते. या तारेच्या वरच्या अंगास एक पितळी गोळी व खालच्या अंगास पितळी साखळी बसविलेली असते. या साखळीचें दुसरें टोंक बाटलीचे आंत लाविलेल्या कथिलाच्या पत्र्यास लागलेलें असतें. आंतील कथिलाचा पत्रा, साखळी, पितळी तार व गोळी मिळून एक रोधित वाहक तयार होतो. विद्युत् यंत्रास गोळी चिकटवून त्यास जागृत करता येतें. बाटली टेबलावर ठेवल्यानें अथवा हातांत धरल्यानें बाहेर लावलेला कथिलाचा पत्रा जमिनीशीं जोडला जातो व अशा रीतीनें हा संचायक तयार होतो. याचे निरनिराळे भाग आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें असतात.



आकृति १३७



आकृति १३८



आकृति १३९

लेडन जारमध्यें विद्युत्संचय फारच मोठ्या प्रमाणांत होत असल्यानें हात लावून तिला निर्जागृत करूं नये. केल्यास फारच मोठा धक्का बसण्याचा संभव असतो. ती निर्जागृत करावयाची झाल्यास विशेष प्रकारच्या चिमटयाचा उपयोग करतात. याचा आकार आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें असतो.

प्रकरण १७ वें.

विद्युद्यंत्रें (Electrical machines)

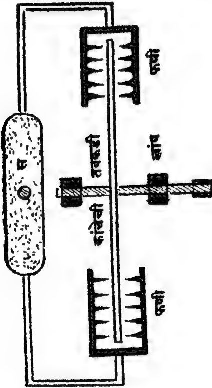
ज्या यंत्रांत घर्षणामुळें विद्युत् उत्पन्न करतां येते अशा यंत्रांत मुख्यत: तीन भाग असतात.

(१) विद्युदुत्पादक म्हणजे घर्षक आणि घर्ष्य पदार्थ यांची जोडी.

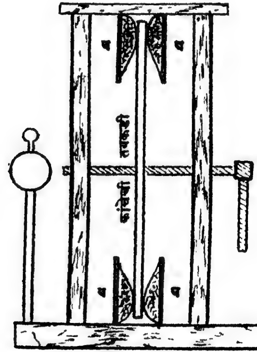
(२) विद्युत् गोळा करणारी फणी.

(३) फणीनें गोळा केलेली विद्युत् सांठविण्याकरितां एक संग्राहक.

तबकट यंत्र Plate machine —या यंत्रांत उभ्या पातळींत फिरणारी सुमारे १२–१५ इंच व्यासाची कांचेची तबकडी असून तिच्या उभ्या



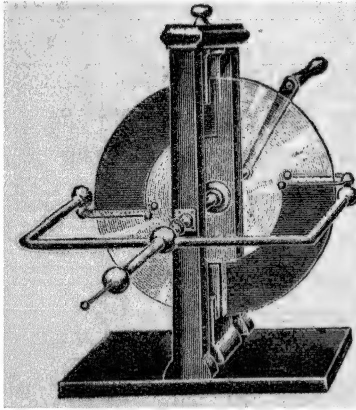
आकृति १४०



आकृति १४१

व्यासाच्या टोंकांशीं असलेल्या 'ब' 'ब' यां कांतडी गाद्यांवर ती घांसली जाते. या तबकडीच्या आडव्या व्यासाच्या टोंकाशीं, घर्षणामुळें उत्पन्न होणारी विद्युत् गोळा करण्याकरतां, आकृतींत दाखविलेल्या आकाराच्या फण्या बसविलेल्या असतात. या दोन्हीं फण्या 'स' या संग्राहकाशीं जोडलेल्या असतात.

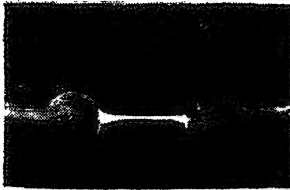
कार्यः—कांचेची तबकडी जेव्हां तिला लाविलेल्या दांड्यानें फिरविली जाते तेव्हां ती 'ब' 'ब' या कातडी गाद्यावर घांसळी जाते व धनजागृत होते. हिचा धनजागृत भाग या फण्या समोर येतांच, प्रवर्तनानें फणीच्या दांतांवर ऋण व संग्राहकावर धनजागृति येते. दांतावरील विद्युद्घनता फार असल्यानें त्यांचे जवळील हवा ऋण विद्युज्जागृत होऊन तबकडीकडे ढकलली जाते. त्यामुळें तबकडी व दांत किंवा टोंकें निर्जागृत होतात आणि धनविद्युत् सग्राहकांत साठविली जाते. टोंकाजवळील ऋणविद्युज्जागृत हवेनें निर्जागृत झालेला तबकडीचा भाग दुसऱ्या गादीवर घांसला जातो, दुसऱ्या फणीसमोर येऊन निर्जागृत होतो व संग्राहकांत धनविद्युत् सांठविली जाते. तबकडी सारखी फिरत असल्यानें हीच क्रिया वारंवार होऊन संग्राहकांस विद्युत्चा अखंड पुरवठा केला जातो.



आकृति १४२

संग्राहकाच्या गोळीजवळ बोट नेल्यास 'तट्' असा आवाज होऊन विद्युत्ची ठिणगी दिसते व हातास मुंगी चावल्या सारखें वाटतें. संग्राहकावर धनविद्युत् असल्यानें बोट प्रवर्तनानें ऋण जागृत होतें. संग्राहकावरील धनविद्युत् व बोटावरील ऋणविद्युत् यांच्या दाबांत जेव्हां पुष्कळ फरक पडतो तेव्हां त्यांच्यांतील आकर्षण इतकें वाढतें कीं, त्या हवेच्या विद्युद्रोधक शक्तीस न जुमानतां एकत्र होतात व त्यामुळें विद्युत्ची ठिणगी उत्पन्न होते.

या ठिणगीचा आकार तिच्या लांबीवर अवलंबून असतो. ती जेव्हां लहान असते तेव्हां सरळ असते पण जेव्हां तिची लांबी २ किंवा ३ इंचां-


आकृति १४३


आकृति १४४

पेक्षां जास्त असते तेव्हां तीं वांकडी तिकडी असून केव्हां केव्हां तिला फांद्याहि फुटलेल्या असतात.

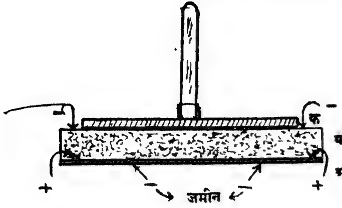
याचप्रमाणें जेव्हां विद्युज्जागृत ढग पृथ्वीजवळ येतो. तेव्हां वरील प्रमाणेंच पृथ्वीवर विरुद्ध प्रकारची विद्युज्जागृति उत्पन्न होते व यांच्या (ढग आणि पृथ्वी) विद्युद्दाबांत जेव्हां पुष्कळ फरक पडतो, तेव्हां वीज पडते व वीजेची मोठी चमक दिसून 'कड्ड्ड्ड्' असा मोठा आवाज होतो. हा आवाज वीज चमकल्यावर कांहीं वेळाने ऐकूं येतो.

विद्युद्धारकयंत्र (Electrophorus).

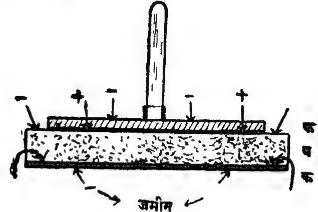
या यंत्रांत 'अ' या धातूच्या तळावर 'ब' ही इबोनाइटची जाड चकती बसविलेली असते. या चकतीवर रोधक मूठ बसविलेली व तिच्या पेक्षां लहान अशी 'क' ही चकती ठेविलेली असते. ही पितळी चकती इबोनाइटच्या चकतीस फारच थोडया जागीं चिकटते.

कार्य:--इबोनाइटची चकती कोरडी करून मांजराच्या कातडयाने अथवा फ्लॅनेलनें घासा म्हणजे ती ऋणजगृात होईल.रोधक मूठ बसविलेली 'क' ही पितळी चकती तिच्यावर ठेवा व तिला हात लावून काढून घ्या. नंतर 'क' ही चकती रोधक मुठीनें वर उचलून तिच्यावरील जागृति कोणच्या प्रकारची आहे हें विद्युद्दर्शकाच्या सहाय्याने ठरवा. ती जागृति धन आहे असें आढळेल. इबोनाइटच्या चकतीवर ऋणविद्युत असूनहि

ज्या अर्थी पितळी चकती धनजागृत झाली आहे, त्या अर्थी ती प्रवर्त-



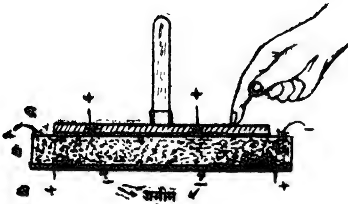
आकृति १४५



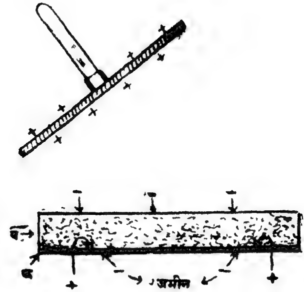
आकृति १४६

नानेंच जागृत झाली असली पाहिजे.

ज्या अर्थी 'क' ही चकती प्रवर्तनानें जागृत होते त्या अर्थी तिच्या खालच्या भागावर धन व वरचे भागावर ऋणविद्युत् प्रवर्तित होतात.



आकृति १४७



आकृति १४८

चकतीस हात लावला म्हणजे चकतीवरील मुक्त ऋण विद्युत् जमीनींत जाते व खालचे भागावरील बद्ध धन विद्युत् तेथेंच राहाते. रोधक मुठीनें 'क' ला वर उचलली म्हणजे तिच्या खालच्या भागावर असलेली धन विद्युत् चकतीवर पसरते व ती धनजागृत होते. ही धनजागृति दुसऱ्या वाहकास देतां येते.

'क' ही चकती प्रवर्तनानें जागृत होत असल्यामुळें 'ब' या इबोनाइटच्या चकतीवरील विद्युत् मुळीच कमी होत नाहीं व म्हणूनच इबोनाइटची चकती एकदाच जागृत करून 'क' चकती अनेक वेळां जागृत करतां येते.

इबोनाइटचे चकतीवरील ऋण विद्युत् तिच्याखालीं असलेल्या 'अ' या धातूच्या तळाच्या वरीलपृष्ठभागावर धनविद्युत् व खालच्या भागावर ऋणविद्युत् प्रवर्तित करते. हें तळ जमिनीवर ठेवलेलें असल्यानें मुक्त ऋणविद्युत् जमिनींत जाते व 'अ' या तळावरील धनविद्युत् इबोनाइटच्या चकतीवरील ऋणविद्युत्ला ओढून धरते. अशा रीतीनें 'ब' या चकतींतून ऋणविद्युत् नाहींशी होण्याचा संभव कमी होतो.

घर्षणामुळें विद्युत् उत्पन्न करण्याच्या यंत्राचा उपयोग अलीकडे फारसा करीत नसून प्रवर्तनानें विद्युत् उत्पन्न करणाऱ्या यंत्राचाच विशेष उपयोग करतात.

प्रश्नसंग्रह १६ आणि १७

विद्युत् नेहमीं वाहकाच्या बाहेरील पृष्ठभागावरच असते हें सिद्ध करण्याकरतां दोन प्रयोग लिहा.

(२) लोलकाच्या आकाराच्या (pear shaped) रोधित जागृत वाहकावर सर्व ठिकाणीं विद्युद्दाब सारखा असतो पण विद्युद्धनता वेगवेगळीं असते हें कसें दाखवाल ?

(३) सुवर्ण पत्र विद्युद्दर्शक यंत्राचा (१) वाहकावरील जागृतीचा प्रकार ओळखण्याकरतां, (२) वाहकावरील विद्युद्धनता पाहण्याकरता कसा उपयोग कराल ?

(४) "विद्युद्दर्शक यंत्रानें विद्युद्घनतेपेक्षां विद्युद्दाबच समजतो" या म्हणण्याचा अर्थ काय ?

(५) एक भरीव व एक पोकळ अशा सारख्याच व्यासाच्या गोळ्यांपैकीं कोणाची विद्युद्धारण शक्ति जास्त असते ?

(६) वीजवाहक लावलेल्या घरावर ऋणजागृत ढग आल्यास तो निर्जागृत कसा होतो हे समजावून सांगा.

(७) बारीक टोंक असलेल्या रोधित वाहकास जागृत स्थितींत ठेवतां येत नाहीं याचे कारण काय ?

(८) रोधित वाहका जवळ जमिनीशीं संबंध असलेला वाहक आणला असतां त्याची विद्युद्धारण शक्ति वाढते हें कसें दाखवाल ?

(९) विद्युत्संचायकांचे प्रकार सांगा. लेडनजारचे वर्णन लिहा.

(१०) लेडनजार रोधित आधारावर ठेवली असतां तिच्यांत पुष्कळ विद्युत्संचय करतां येत नाहीं यांचें कारण काय ?

(११) रोधित आधारावर ठेवलेली जागृत लेडनजार हात लावून निर्जागृत केली तर धक्का बसत नाहीं पण जमिनीवर ठेवलेली लेडनजार त्याच रीतीनें निर्जागृत केल्यास धक्का बसतो याचे कारण काय ?

(१२) 'अ' आणि 'ब' हें सारखें रोधितपत्रे एकमेकांस समांतर राहतील असें एकमेकांपासून १″ अंतरावर ठेवले आहेत. 'अ' पत्रा एका विद्युद्दर्शकाशीं व 'ब' दुसऱ्याशी याप्रमाणें ते जोडलेले आहेत. (१) 'अ'ला धनजागृत करून, नंतर (२) 'ब'ला स्पर्श केला तर विद्युद्दर्शकांत काय फरक होतील ते सांगा.

(१३) तक्कट यंत्रांत कोणकोणचे मुख्य भाग असतात ते सांगा. या यंत्रानें वीज कशी उत्पन्न करतां येते ?

(१४). विद्युद्धारकाचे वर्णन करा. त्याचेवरील चकती जागृत करतांना ज्या निरनिराळ्या कृती कराल त्यांची कारणें सांगा व विद्युद्धारकाच्या निरनिराळ्या भागांत प्रत्येक कृतीमुळें होणारा विद्युद्विषयक फरक आकृति काढून दाखवा.

(१५) विद्युद्धारकांतील इबोनाइटची चकती एकदाच जागृत करून तिच्यामुळें तिचेवर असणारी पितळी चकती अनेक वेळां जागृत करता येते तें कां ?

(१६) विद्युद्धारकांत खालच्या धातूच्या तळाचा काय उपयोग आहे ?

प्रकरण १८ वें.

गतिमान विद्युत् किंवा चलविद्युत्

(Electricity in motion)

प्रयोग १५९—विद्युज्जागृत दांडा चुंबकीय सुईजवळ आणा. सुईचें एकच टोंक अथवा दोन्हीं टोंकें त्याकडे आकर्षिलीं जातात तें पाहा. दोन्ही टोंकें त्याकडे आकर्षिलीं जातात असें आढळेल. जागृत दांडा व सुई यांच्यामध्यें जस्त, कथील, तांबे इत्यादि कोणत्याहि अचुंबकीय धातूंचा पत्रा धरा. सुई पूर्वीसारखीच आकर्षिली जाते का पाहा. ती पूर्वीप्रमाणें आकर्षिली जात नाहीं असें दिसेल. यावरून जागृत दांड्यामुळें सुई विचलित झाली असतां, सुई व दांडा यांच्यामध्यें धातूचा पत्रा धरल्यास सुई एकदम पूर्व स्थितींत जाते व उत्तर–दक्षिण स्थिर होते असें दिसेल.

प्रयोग १६०—विद्युज्जागृत दांड्याच्या ऐवजीं चुंबकपट्टी घेऊन वरील प्रयोग करा. चुंबकामुळें सुईची दोन्ही टोंकें आकर्षिलीं जात नसून चुंबक व सुई यांच्यामध्यें अचुंबकीय धातूचा पत्रा धरल्यास चुंबकामुळें सुईत झालेल्या विचलनांत मुळींच फरक होत नाहीं असें दिसेल.

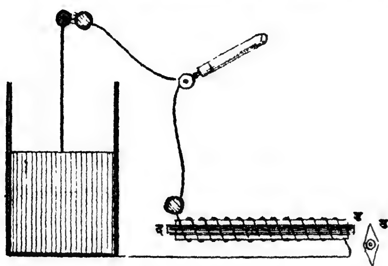
(१) जागृत पदार्थ सुईचीं दोन्ही टोंकें आकर्षण करतो.

(२) जागृत पदार्थ व सुई यांच्यामध्ये धातूचा पत्रा धरल्यास त्याचे सुईवर होणारे परिणाम नाहीसे होतात, पण चुंबक व सुई यांच्यांमध्यें असा पत्रा धरल्यास चुंबकाचे परिणाम नाहींसे होत नाहींत.

वरील दोन्ही प्रयोगांवरून असें दिसून येईल कीं, जागृत पदार्थाच्या जवळ चुंबक शक्तीचे परिणाम दृग्गोचर होत नाहींत.

प्रयोग १६१—कांचेच्या नळीवर रोधित तांब्याची तार (Insulated copper wire) गुंडाळा व नळींत एक विणण्याची सुई ठेवा. तारेचें एक टोंक लेडन जारच्या बाहेरील धातूच्या आवरणास जोडा. सुईचें टोंक चुंबकीय सुईच्या टोंकांजवळ येईल अशा रीतीनें नळी ठेवा. निर्जागृत करण्याच्या

चिमट्याचें एक टोंक तीव्र विद्युज्जागृति असलेल्या (strongly charged) लेडन जारच्या गोळीस व दुसरें नळीवर गुंडाळलेल्या तारेच्या दुसऱ्या टोंकास लावा. व काय होते पाहा. त्या टोंकास स्पर्श होतांच चुंबकीय सुई विचलित होते वनळीचे आंतील सुईत चुंबकत्व येतें असें आढळेल.



आकृति १४९

प्रयोग १६२---लेडन जार विरुद्ध प्रकारच्या विद्युत्‌नें जागृत करा व बाकीची रचना पूर्वीप्रमाणेंच ठेवा. चिमट्याचें टोंक नळीवरील तारेच्या टोंकास लागतांच सुई कोणत्या दिशेने विचलित होते तें पाहा; तसेंच नळींतील सुई पूर्वीप्रमाणें चुंबक होते का तेंहि पाहा. चिमट्याचें टोंक नळी वरील तारेच्या टोंकास लागतांच चुंबकीय सुई विरुद्ध दिशेनें विचलित होते व नळींतील सुई पूर्वीप्रमाणें चुंबक बनते, पण तिच्या ध्रुवांत अदला बदल झालेली असते, असें आढळेल.

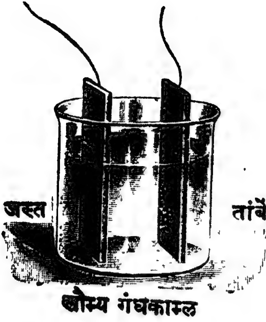
यावरून असें दिसेल कीं विद्युत् व चुंबकत्व यांत निकट संबंध असून विद्युत् वाहात असतां तिच्या वाहण्याच्या मार्गाजवळ चुंबकीय परिणाम दिसतात, पण विद्युत् स्थिर असता मात्र ते दिसत नाहींत.

गतिमान विद्युत्‌ला विद्युत्प्रवाह (Electric current) म्हणतात. विद्युत्प्रवाह म्हणजे खरोखर विद्युत्कणांचा (Electrons) प्रवाह असतो पण विद्युत्प्रवाह धनजागृत पदार्थांकडून अजागृत किंवा ऋणजागृत पदार्थांकडे वाहतो असें म्हणण्याचा प्रघात आहे. विद्युत् प्रवाहाचें अस्तित्व त्यामुळें उत्पन्न होणाऱ्या चुंबकीय परिणामांवरून ठरवितात.

रासायनिक क्रियेनें विद्युत् प्रवाह उत्पन्न करतां येतो.

रासायनिक क्रियेनें विद्युत् प्रवाह उत्पन्न करतां येतो ही गोष्ट १७८६ सालीं गॅल्व्हानी (Galvani) नांवाच्या शारीरशास्त्रज्ञाच्या अचानकपणें

नजरेस आली, पण त्याच्या शोधाचा फारसा उपयोग झाला नाहीं. रासायनिक क्रियेमुळें विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करण्याची योजना पहिल्यानें इ. स. १८०० सालीं व्होल्टानें (Volta) सुचविली. या योजनेस व्होल्टाचा, गॅल्व्हानीचा किंवा साधा विद्युद्घट (Simple cell) म्हणतात. याघटांत तांब्याची एक व जस्ताची एक अशा दोन पट्टया एकमेकांस लागूं न देतां सौम्य गंधकाम्लांत बुडविलेल्या असतात.



आकृति १५०

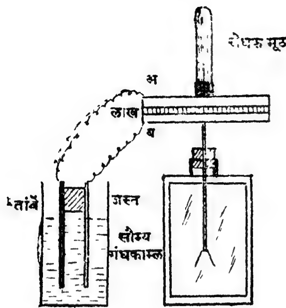
प्रयोग १६३—प्रयोग १६१ मध्यें कांचेच्या नळीवर गुंडाळलेल्या तारेच्या टोंकांपैकीं एक टोंक साध्या विद्युद्घटांतील जस्ताच्या पट्टीस व दुसरें तांब्याच्या पट्टीस जोडा व तीं तशीच कांहीं वेळ जोडलेलीं राहूं द्या. नळींतील विणण्याची सुई चुंबक झाली का पाहा. तिच्यांत चुंबकत्व आलें आहे असें दिसेल. तांब्याच्या व जस्ताच्या पट्टीस सांधणारी तार चुंबकीय सुईचे वर धरा. व ती विचलित होते का पाहा. ती विचलित झालेली दिसेल.

यावरून विद्युद्घटांतील जस्त व तांबें यांच्या पट्टया सांधणाऱ्या तारेंतून विद्युत् प्रवाह वाहात असला पाहिजे हें सिद्ध होतें.

विद्युद्घटांतील जस्त व तांबें यांच्या पट्टया विद्युज्जागृत असतात.

प्रयोग १६४—रोधक मूठ बसविलेली व खालचे बाजूनें लाख लावलेली 'अ' ही पितळी चकती विद्युद्दर्शकाच्या चकतीवर ठेवलेल्या 'ब' या दुसऱ्या पितळी चकतीवर ठेवा. विद्युद्दर्शकाची पानें फांकतात का पाहा. तीं फांकत नाहींत असें दिसेल. 'अ' ही चकती तांब्याच्या पट्टीस व 'ब' ही चकती जस्ताच्या पट्टीस रोधित तारांनीं जोडा. कांही वेळानें या जोडणाऱ्या तारा काढा व 'अ' ही चकती 'ब' वरून उचला. विद्युद्दर्शकाचीं पानें

आतां फाकतात का पाहा. तीं फाकतांना दिसतील. ‘ अ ’ वर उचलल्यानें ‘ ब ’ वरील मुक्त झालेल्या विद्युत्‌चा कांहीं भाग पानांत शिरतो व म्हणून पानें फाकतात. रेशमानें घासलेला कांचेचा दांडा आणि फ्लॅनेलनें घासलेला इबोनाइटचा दांडा विद्युद्दर्शक यंत्राजवळ क्रमाक्रमानें आणा व विद्युद्दर्शकावरील जागृति कोणत्या प्रकारची आहे तें ठरवा. ती ऋणजागृति आहे असें दिसेल. हाच प्रयोग पुनः करा, पण यावेळीं तांब्याची पट्टी ‘ ब ’ चकतीस व जस्ताची पट्टी ‘अ’ चकतीस जोडा व विद्युद्दर्शकावरील जागृति तपासून पाहा. यावेळीं विद्युद्दर्शक यंत्र धन जागृत आहे असें दिसेल.



आकृति १५१

यावरून असें स्पष्ट दिसतें कीं साध्या विद्युद्‌घटांत तांब्याची पट्टी धनजागृत असून जस्ताची पट्टी ऋणजागृत असतें.

गंधकाम्ल पाण्यांत घातलें म्हणजे त्याचें पृथःकरण होऊन त्याचें धनविद्युज्जागृत हायड्रोजन आयन (Ion) आणि ऋण विद्युत्‌जागृत सल्फ (SO_4) आयन असे भाग होतात. जस्तावर आम्लाचा रासायनिक परिणाम होऊन तें जेव्हां आम्लांत विरघळतें तेव्हां त्याच्या कणांबरोबर थोडी थोडी धनविद्युत्‌हि द्रावणांत जाते. जस्तामध्यें सम प्रमाणांत असणाऱ्या धन आणि ऋणविद्युत् पैकीं धनविद्युत् अशा रीतीनें द्रावणांत जात असल्याने जस्तावर ऋणविद्युत्‌चें प्रमाण वाढतें व जस्त ऋणविद्युज्जागृत होते. जस्तापासून धनविद्युत् द्रावणांत जात असल्यानें जस्ताच्या पट्टीपासून धन विद्युज्जागृत हायड्रोजनचे आयन दूर लोटले जातात. ते जेव्हां तांब्याच्या पट्टीवर येऊन आदळतात तेव्हां ते आपली धनजागृति तांब्यास देतात व त्यामुळें तांबें धनजागृत होतें. अशा प्रकारें तांबें व जस्त यांच्या विद्युद्दाबांत फरक होत असल्याने साध्या विद्युद्‌घटांत तांब्याकडून जस्ताकडे विद्युत् वाहते.

प्रवाह धन जागृत पदार्थाकडून अजागृत अथवा ऋणजागृत पदार्थाकडे वाहतो असें म्हणण्याचा प्रघात आहे, म्हणून साध्या विद्युद्घटांतील दोन पट्ट्या तारेनें सांधल्या असतां सांधणाऱ्या तारेंतून तांब्याकडून जस्ताकडे प्रवाह वाहतो असें आपण म्हणतो. प्रवाहाची वाहण्याची दिशा तांब्याकडून जस्ताकडे असल्यामुळें तांब्यावरील विद्युद्दाब जस्तावरील विद्युद्दाबापेक्षां जास्त असतो.

जस्ताच्या पट्टीस पारा लावणें (पारदविलेपन amalgamation).

प्रयोग १६५—जस्ताची पट्टी कांहीं वेळ गंधकाम्लांत ठेवा व नंतर आम्लांतून बाहेर काढून तिला पारा लावा. गंधकाम्लांत असलेल्या पट्टीच्या भागास पारा सारखा चिकटतो असें दिसेल. या पारा लावण्याच्या कृतीस '**पारदविलेपन**' (amalgamation) म्हणतात व पारा लाविलेल्या पट्टीस '**पारदविलेपित**' (amalgamated zinc) जस्त म्हणतात.

प्रयोग १६६—एका पेल्यांत थोडें सौम्य गंधकाम्ल घ्या व त्यांत जस्ताची पट्टी ठेवा. जस्ताच्या पट्टीपासून हायड्रोजन वायूचे बुडबुडे निघतात का पाहा. ते निघतात असें दिसेल.

प्रयोग १६७-एका कांचेच्या पेल्यांत थोडें सौम्य गंधकाम्ल घेऊन त्यांत शुद्ध जस्ताची अथवा पारा लावलेली जस्ताची पट्टी ठेवा. पट्टीपासून हायड्रोजनचे बुडबुडे निघतात का पाहा. या वेळीं ते निघत नाहींत असें दिसेल.

प्रयोग १६८—जस्ताची एक पट्टी व तांब्याची एक पट्टी अशा दोन पट्ट्या एकमेकींस चिकटणार नाहींत अशा रीतीनें सौम्य गंधकाम्लांत ठेवा. हायड्रोजनचे बुडबुडे कोणच्या पट्टीपासून निघतात तें पाहा. ते सर्व जस्ताच्या पट्टीपासूनच निघत असून तांब्याच्या पट्टीपासून एकहि बुडबुडा निघत नाही असें दिसेल. त्या दोन्ही पट्ट्या तारेनें जोडा व आतां बुडबुडे कोणत्या पट्टीपासून निघतात तें पाहा. ते आतां तांब्याच्या पट्टीपासून निघत आहेत असें दिसेल. या वेळीं तारेंतून विद्युत्प्रवाह वाहत आहे किंवा नाही हें पट्ट्या सांधणारी तार चुंबकीयसुईवर धरून ठरवा. पट्ट्या तारेनें जोडल्या असतां तारेंतून विद्युत् प्रवाह वाहतो असें आढळेल. हाच प्रयोग साध्या जस्ताचे पट्टी ऐवजीं शुद्ध किंवा पारा लावलेली जस्ताची पट्टी घेऊन करा. या वेळीं, जोंपर्यंत तांब्याची पट्टी जस्ताच्या पट्टीस तारेनें सांधत नाही तोंपर्यंत हायड्रोजनचे बुडबुडे कोणच्याहि पट्टीपासून निघत

नाहींत असें दिसेल; पण त्या दोन्ही पट्टया तारेनें जोडल्यास फक्त तांब्याच्या पट्टीपासूनच हायड्रोजनचे बुडबुडे निघतात असें दिसेल. याहि वेळीं पट्टया सांधणाऱ्या तारेंतून विद्युत् प्रवाह वाहात असतो असें परीक्षणा-अंतीं आढळेल.

शुद्ध जस्ताची पट्टी, व तांब्याची पट्टी अशा दोन्ही पट्टयांचें निरनिराळें वजन करून विद्युद्‌घट तयार करा. विद्युद्‌घट कांहीं वेळ चालू ठेवा व नंतर जस्ताच्या व तांब्याच्या अशा दोन्ही पट्टयांची पुन: वेगवेगळीं वजनें करा. कोणच्या पट्टीचें वजन कमी झालें आहे तें पाहा. जस्ताच्या पट्टीचें वजन कमी झालें असून तांब्याच्या पट्टीचें वजन पूर्वी इतकेंच आहे असें आढळेल.

यावरून असें सिद्ध होतें कीं साध्या विद्युद्‌घटांत विद्युत् प्रवाह उत्पन्न होत असतां जस्त खर्च होत असतें व तांब्याच्या पट्टीवर हायड्रोजनचे बुड-बुडे जमतात. जवळ जवळ याच प्रकारची क्रिया सर्व विद्युद्‌घटांत होत असते, म्हणजे एक पट्टी खर्च होते व दुसऱ्या पट्टीवर कोणचें तरी मूल द्रव्य जमत असतें.

विद्युद्‌घटांत प्रवाह उत्पन्न करण्याकरतां घटांतील धातूंवर त्यांतील द्राव-णाचें रासायनिक कार्य सारख्याच प्रमाणांत होऊं नये. एकावर तें जास्त व दुसऱ्यावर कमी याप्रमाणें तें असावयास पाहिजे. या दोन धातूंपैकीं ज्या धातूच्या पट्टीवर तें कार्य अधिक प्रमाणांत होते त्या धातूच्या पट्टीला सक्रिय (active) किंवा धन (positive) म्हणतात व दुसरीस अक्रिय (inactive) किंवा ऋण (negative) म्हणतात. साध्या विद्युद्‌घटांत गंधकाम्लाचें तांब्यापेक्षां जस्तावर अधिक कार्य होतें म्हणून जस्ताचे पट्टीस सक्रिय किंवा धन पट्टी व तांब्याच्या पट्टीस अक्रिय किंवा ऋण पट्टी म्हणतात. विद्युद् घटांत नेहमीं धन पट्टीकडून ऋण पट्टीकडे व घटाबाहेर ऋण पट्टीकडून धन पट्टीकडे याप्रमाणें प्रवाह वाहतो.

विद्युत सारण शक्ति (Electromotive force) [E. M. F.]

मागें आपण असें पाहिलें आहे कीं, साध्या विद्युद्‌घटांतील जस्ताची पट्टी ऋणजागृत असते व तांब्याची पट्टी धनजागृत असते. या दोन पट्टया तारेनें सांधल्या म्हणजे तारेंतून विद्युत प्रवाह तांब्याकडून जस्ताकडे

वाहतो अथवा विद्युत्कण (electons) जस्ताकडून तांब्याकडे जातात. विद्युत्सरण (flow W.F. electricity)हें दोन ठिकाणच्या विद्युद्दाबांमध्यें असणाऱ्या फरकावर अवलंबून असतें. तो फरक जितका जास्त तितकें तें (विद्युत् सरण) अधिक जोरानें होतें. विद्युद् घटांतील दोन पट्टयांमध्यें असणाऱ्या विद्युद्दाबांतील फरकास विद्युद् घटाची **विद्युत्सारण शक्ति (वि. सा. श.)** Electomotive force [E. M. F.] असें म्हणतात.

घटांतील पट्टयांवर त्यांतील द्रावणाच्या होणाऱ्या रासायनिक कार्यांत जितका अधिक फरक तितकी त्या घटाची वि. सा. श. (E. M. F.) हि जास्त असते. ज्यावर अतिशय जलद कार्य होतें अशा पदार्थांपासून सुरवात करून ज्यावर मुळींच कार्य होत नाही तो पदार्थ शेवटीं, याप्रमाणें धातूंची क्रमवार यादी केल्यास ती पुढीलप्रमाणें असेल. (१) जस्त, (२) शिसें, (३) लोखंड, (४) निकल, (५) तांबें, (६) चांदी, (७) सोनें, (८)प्लॅटिनम व (९) ग्रॅफाइट (carbon).

यावरून जस्त आणि तांबें यांच्या पट्टया विद्युद्घटांत वापरून जितकी वि.सा.श. उत्पन्न होते त्यापेक्षां जस्त आणि प्लॅटिनम यांच्या पट्टया वापरून जास्त वि. सा. श. उत्पन्न होते.

विद्युत्घटांतील विद्युद्दाब त्या पट्टयांच्या आकारावर किंवा त्यांतील द्रवाच्या प्रमाणावर अवलंबून नसतो.तो त्यांतील धातूंवर व द्रवावर अवलंबून असतो.

विद्युत् प्रवाह दर्शक यंत्र (Galvanoscope) या यंत्रांत एका लांकडी कडीभोंवतीं रोधित तार गुंडाळलेली असते व तिच्या मध्यभागीं क्षितिज समांतर पातळींत मोकळी फिरेल अशी चुंबकीय सुई टांगलेली असते. रोधित तारेंतून प्रवाह वाहूं लागला म्हणजे चुंबकीय सुई विचलन पावते व त्यामुळें तारेंतून प्रवाह वाहात आहे किंवा नाही तें समजतें. (सुईचे विचलन मोजण्याची ज्या यंत्रांत सोय केलेली असते त्यास विद्युत्प्रवाह मापक यंत्र म्हणसात).



आकृति १५२

प्रयोग १६९:—साध्या विद्युद् घटांतील तांब्याच्या व जस्ताच्या पट्ट्यांस जोडलेल्या तारांचीं टोकें विद्युत्प्रवाहमापकांतील रोधित तारेच्या टोंकांस जोडा म्हणजे विद्युत् प्रवाह तारेच्या वलयांतून जाईल व त्यामुळें कडीच्या मध्यभागीं असलेली चुंबकीय सुई विचलन पावेल. तार जोडतांच सुईचें विचलन किती अंश होतें तें पाहा. ही व्यवस्था अशीच ठेवून दर दोन दोन मिनिटांनीं सुईचें विचलनांत कांहीं फरक होतो कां पाहा. तें हळूहळू कमी होत आहे असें आढळेल. तांब्याच्या पट्टीवर गोळा झालेले हायड्रोजनचे बुडबुडे कुंचल्यानें साफ करा व सुईचें विचलन पाहा. तें पूर्वी इतकेंच आहे असें आढळेल. तांब्याच्या पट्टीवर जमणारे हायड्रोजनचे बुडबुडे कुंचल्यानें सारखे साफ करा व सुईचें विचलन पूर्वीसारखें हळूहळू कमी होतें का पाहा. तें आतां कमी होत नाहीं असें दिसेल. विद्युद् घटांत पोटॅशियम डायक्रोमेटचें संपृक्त द्रावण घाला. तांब्याच्या पट्टीवर आतां हायड्रोजनचे बुडबुडे दिसतात का पाहा. तसेंच सुईचें विचलन कमी होतें का हेंहि पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं, या वेळीं तांब्याच्या पवट्टीर हायड्रोजनचे बुडबुडे जमत नाहींत व सुईचें विचलनहि पूर्वीप्रमाणें कमी होत नाहीं म्हणजे विद्युत्प्रवाह कमी होत नाहीं.

यावरून असें दिसेल कीं, साध्या विद्युद्घटापासून उत्पन्न होणारा प्रवाह, तांब्याच्या पट्टीवर जमत असलेल्या हायड्रोजनमुळें हळूहळू कमी होतो. या प्रवाह कमी होण्याच्या क्रियेला **निर्बली भवन** (Polarisation) असें म्हणतात.

हायड्रोजन तांब्याच्या पट्टविर जमल्यानें निर्बली भवन कां होतें?

हायड्रोजनचे बुडबुडे तांब्याच्या पट्टीवर जमत असल्यामुळे प्रवाह कमी होण्याचीं दोन कारणें आहेत.

(१) हायड्रोजन हा विद्युद्रोधक पदार्थ आहे. हा तांब्याच्या पट्टीवर जमा झाल्यानें तांब्याच्या पट्टीचा, द्रवाशीं संबंध असलेला—पृष्ठ भाग कमी होतो व विद्युत्प्रवाह वाहण्यास त्यामुळें अडथळा होतो.

(२) द्रवांतील पदार्थ बदलल्यामुळें घटाची विद्युत्सारणशक्ति बदलते. तांब्याच्या पट्टीवर हायड्रोजन जमा झाल्यानें घटाची विद्युत्सारण शक्ति

कमी होते. कारण द्रवांत तांब्याच्या पट्टी ऐवजीं आतां हायड्रोजनचीच पट्टी बुडविल्यासारखें होतें.

हा दोष टाळण्याचे उपाय.

(१) तांब्याच्या पट्टीवरील हायड्रोजनचे बुडबुडे कुंचल्यानें साफ करणें.

(२) घटांतील आम्ल सारखें ढवळीत राहणें.

(३) तांब्याच्या पट्टीचा पृष्ठ भाग खरबरीत करणें. पृष्ठ भाग खरबरीत केल्यानें त्यावरून हायड्रोजनचे बुडबुडे लवकर निसटतात.

वरील रीतींनी तांब्याच्या पट्टीवर हायड्रोजन जमूं न देणें गैरसोयीचें आहे. म्हणून

(४) ज्या पदार्थामुळें हायड्रोजनचें प्राणिदावन (oxidation) करतां येईल असे पदार्थ (मँगॅनीज डायऑक्साइड, नत्राम्ल, पोटॅशियम डायक्रोमेट इत्यादि) विद्युद्घटांत घालणें.

निरनिराळ्या विद्युद्घटांत हायड्रोजनचें प्राणिदावन करण्याकरतां निरनिराळे पदार्थ वापरतात.

साध्या विद्युद्घटांत याशिवाय आणखीहि एक दोष असतो, त्यास **स्थानिक क्रिया** (local action) असें म्हणतात.

साध्या विद्युद्घटांत अशुद्ध जस्त वापरल्यास ज्याप्रमाणें तांब्याच्या पट्टीपासून हायड्रोजनचे बुडबुडे निघतात, त्याचप्रमाणें ते जस्ताच्या पट्टीपासूनहि निघतात. जस्ताच्या पट्टीवर हायड्रोजनचे बुडबुडे दिसण्याचे मुख्य कारण म्हणजे त्यांत लोखंड, कर्ब यांसारखे त्यास अशुद्ध करणारे पदार्थ असतात हें होय. हे पदार्थ जस्तांत असल्यानें जस्ताची पट्टी ज्यावेळीं गंधकाम्लांत बुडविली जाते त्यावेळीं जस्त–लोखंड; कर्ब–जस्त अशा जोड्या गंधकाम्लांत आल्यानें लहान लहान विद्युद्घट जस्ताच्या पट्टीतच तयार होतात. जस्ताच्या पट्टीपासून म्हणजे जेथे जेथे लोखंड अथवा कर्ब पृष्ठभागावर असतो तेथून तेथून हायड्रोजनचे बुडबुडे निघूं लागतात. या क्रियेंत जस्त खर्च होत असून देखील आपणास विद्युत्प्रवाह मिळत नाहीं, म्हणजे जस्त फुकटच खर्च होत असतें.

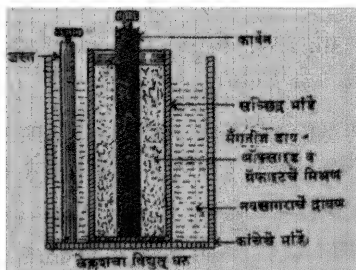
हा दोष टाळण्याचा उपाय.

हा दोष टाळण्याकरता जस्ताच्या पट्टीस पारा लावतात. पाऱ्यांत जस्त विरघळतें पण जस्तांत असणारे लोखंड व कर्ब यांसारखे पदार्थ त्यांत विरघळत नाहींत. जस्त पाऱ्यांत विरघळल्यामुळें होणारा पदार्थ पट्टीच्या पृष्ठभागावर सारखा पसरतो आणि जस्तास अशुद्ध करणारे लोखंड व कर्ब यांसारखे पदार्थ झांकून टाकतो, म्हणजे त्यांचा गंधकाम्लाशीं संबंध येऊं देत नाहीं त्यामुळें स्थानिक क्रिया होत नाही. याकरतां जेव्हां घटांतील पट्ट्या तारेनें जोडलेल्या नसतात अथवा घट भग्नमंडल (on open circuit) असतो तेव्हां जस्त फुकट खर्च होऊं नये म्हणून त्यास पारा लावणें अवश्य असते.

(Leclanche) **चा विद्युद्घट:**—या घटांत एका सछिद्र भांड्यांत कार्बनची पट्टी ठेवून भोंवतालच्या जागेंत मॅंगेनीजडाय ऑक्साइड व



आकृति १५३



आकृति १५४

ग्रॅफाईट यांचें मिश्रण भरलेलें असतें. हें भांडे नवसागराचें द्रावण (१५० ग्रॅम एक लिटर पाण्यांत) असलेल्या मोठ्या कांचेच्या भांड्यांत ठेवलेलें असतें. नवसागराच्या द्रावणांतच जस्ताचा दांडा ठेवलेला असतो.

साध्या विद्युद्घटाप्रमाणें याहि घटांत जस्तावर नवसागराचें पुढील समीकरणांत दाखविल्याप्रमाणें कार्य होऊन अमोनिया व हायड्रोजन वायू उत्पन्न होतात.



$$Zn + 2NH_4Cl = ZnCl_2 + 2NH_3 + H_2$$

अमोनिया पाण्यांत विद्राव्य असल्यानें पाण्यांत विरघळतो व हायड्रोजन कार्बनच्या पट्टीपासून निघूं लागतो. ज्या गतीनें कार्बनच्या पट्टीवर हायड्रोजन जमतो त्याच गतीनें मँगॅनीज डायऑक्साइडमुळें त्याचें प्राणीदावन होत नसल्यानें हाहि घट साध्या विद्युद्घटाप्रमाणें कांहीं वेळानंतर निर्बल होतो. जस्त व कार्बन यांचा संबंध तोडल्यास म्हणजे, घटभग्नमंडल (on open circuit) असल्यास हायड्रोजन कार्बनकडे जाईनासा होतो व तेथें जमलेल्या हायड्रोजनवर मँगॅनीज डायऑक्साइडचें कार्य होऊन त्याचें प्राणीदावन होतें व घट पुनः कार्यक्षम होतो. या घटाची वि. सा. श. (E. M. F.) १.५ व्होल्ट (volt) असते, व आंतील विरोध (Internal resistance) एक ओहम (ohm) पेक्षां कमी असतो, म्हणून या घटामुळें १ पासून ३ अँपीयर (ampere) पर्यंत थोडा प्रवाह मिळतो.

व्होल्टः—हा वेस्टन नार्मल घटामुळे उत्पन्न होणाऱ्या विद्युद्दाबाच्या $\frac{१}{१.०१८३}$ इतका विद्युद्दाब.

ओहमः—१ चौ. मि. मी. तोंडाचें क्षेत्रफळ व १०६.३ सें. मी. लांबी असलेला पाऱ्याचा स्तंभ ०°सें उष्णमानावर जेवढा विरोध करील तेवढ्या विरोधास ओहम म्हणतात.

ॲम्पीयरः—ज्या प्रवाहामुळें चांदीच्या क्षारांतून एका सेकंदांत ०.००१११८ ग्रॅम चांदी मोकळी सुटेल त्या प्रवाहास एक अम्पीयर म्हणतात.

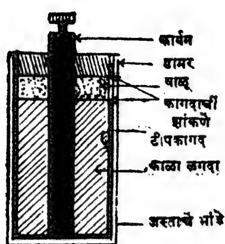
यांचा परस्पर संबंध ओहमच्या नियमानें दर्शविला जातो.

$$\text{प्रवाह (amperes)} = \frac{\text{वि. सा. श. (volts)}}{\text{विरोध (ohms)}}$$

या घटाचा विशेष म्हणजे जेव्हां याचे आंतील कार्बन व जस्त जोडलेले नसतात अथवा घट भग्नमंडल (on open circuit) असतो तेव्हां जस्त मुळीच खर्च होत नाहीं हा होय. या गुणविशेषामुळें हा घट हवा तितका वेळ पडून राहिला तरी खराब होत नाहीं. यांत मधून मधून थोडें पाणी व थोडें नवसागर घालावें लागतें.

ज्या वेळीं फारच थोडया वेळाकरतां विद्युत्प्रवाह हवा असतो त्यावेळीं या घटाचा विशेषतः उपयोग करतात. (उ. विद्युद्घंटा वाजविण्याकरता.)

निर्द्रव अथवा कोरडा विद्युद्घट (Dry cell) याची रचना बहुतेक लेक्लांशच्या (Leclanche) च्या विद्युद्घटासारखी असते. एका दंड गोलाकार जस्ताच्या भांडयाचें मध्यभागीं कार्बनची पट्टी असून भांड्यातील पोकळ जागेंत नवसागर, मॅंगनीज डाय ऑक्साइड, जस्ताचा क्लोराइड, ग्रॅफाइट व पेट्रोलियम कोक या पदार्थांचा काळा लगदा भरलेला असतो. हा लगदा वाळूं नये म्हणून यावर एक कागदाचा तुकडा झांकण असून त्यावर थोडी वाळू घातलेली असते. वाळूवर एक कागदाचा तुकडा पुनः झांकण म्हणून घातलेला असतो. खडयाचे डामर पातळ करून वाळू वरील कागदावर ओतून भांड्याचें तोंड बंद केलेलें असतें. याचें आंतील लगदा सांडत नाही म्हणून या घटास 'निर्द्रव अथवा कोरडा विद्युद्घट' म्हणतात, पण खरोखर हा कोरडा नसतो.

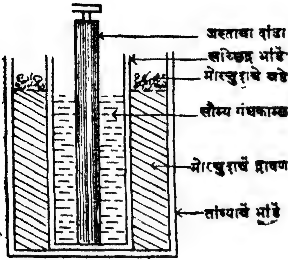


आकृति १५५

या घटांतहि लेक्लांशच्या घटाप्रमाणें जस्तावर नवसागराचें कार्य होऊन प्रवाह उत्पन्न होतो. हायड्रोजन वायुमुळें घट निर्बल होऊं नये म्हणून मॅंगनीजडाय ऑक्साईड व अमोनियामुळे घट निर्बल होऊं नये म्हणून जस्ताचा क्लोराइड (zinc chloride) हे पदार्थ या घटांत वापरतात. ग्रॅफाइटमुळें घटाचें आंतील विरोध फारच कमी होतो. तो जवळ जवळ ०·०५ ओहम् इतका असतो. या घटांचे आंतील विरोध फारच कमी असल्यानें या घटामुळें जवळ जवळ ३० ॲम्पीयर इतका प्रवाह थोडा वेळ मिळूं शकतो.

ह्या प्रकारचा घट वापरण्यास सोयीचा असल्यानें याचा खप इतका वाढला आहे कीं दर दिवशीं एकेका कारखान्यांतून तीस तीस हजारपर्यंत असले घट तयार केले जातात.

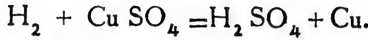
डॅनियलचा विद्युद्घट (Daniell cell).



आकृति १५६

तांब्याच्या दंडगोलाकार भांड्यांत मोरचुदाचें संपृक्त द्रावण घेऊन त्यांत एक सछिद्र भांडे ठेविलेलें असतें. सच्छिद्र भांड्यांत सौम्य गंधकाम्ल व जस्ताची पट्टी असते. द्रावणांतील मोरचुदाचें प्रमाण कमी होऊं नये म्हणून भांड्याचे वरचे भागास असलेल्या वलयाकार चाळणीवर मोरचुदाचे खडे ठेवलेले असतात.

कार्य:—सौम्य गंधकाम्लाचें जस्तावर कार्य होऊन त्यापासून उत्पन्न होणारा हायड्रोजन तांब्याकडे जात असतां त्याचें मोरचुदाच्या द्रावणावर कार्य होतें व मोरचुदांतून तांबें मोकळे सुटतें.



$$H_2 + Cu\,SO_4 = H_2\,SO_4 + Cu.$$

हायड्रोजनचे ऐवजीं हें तांबें तांब्याच्या भांड्यावर बसतें व त्यामुळें घट निर्बल होत नाहीं. या घटाची वि. सा. श. जवळ जवळ १·८ व्होल्ट असते.

दोष—हा घट भग्नमंडल असतां, म्हणजे तांब्याचें भांडें व जस्ताची पट्टी जोडलेली नसते तेव्हां, मोरचुदाचें द्रावण हळूहळू सछिद्र भांड्यांत शिरतें व त्यामुळें जस्ताच्या पट्टीवर तांब्याचा थर बसतो.

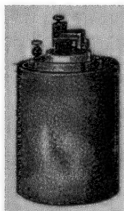


$$Zn + Cu\,So_4 = Zn\,So_4 + Cu.$$

हा थर बसल्यामुळें घटांत जस्त व तांबें असें दोन पदार्थ असण्याऐवजीं तांबें हा एकच पदार्थ राहतो व म्हणून घट निरुपयोगी होतो. घट निरुपयोगी होऊं नये म्हणून काम झाल्याबरोबर मोरचुदाचें द्रावण दुसऱ्या कांचेच्या भांड्यांत ओतून ठेवावें अथवा सछिद्र भांडें मोरचुदाचे द्रावणांतून बाहेर काढून ठेवावें.

बुन्सनचा विद्युद्घट.

या विद्युद्घटाची रचना जवळ जवळ डॅनियलच्या विद्युद्घटासारखीच असते. घट निर्बल होऊं नये म्हणून यांत नत्राम्ल (सोऱ्याचें तेजाब) Nitric acid वापरतात.



बुन्सनचा विद्युत् घट

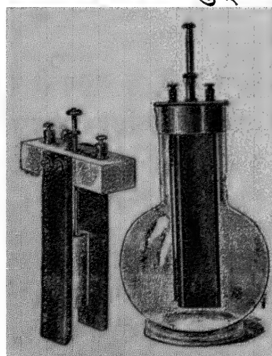
आकृति १५७

या घटांत कांचेच्या किंवा चिनीच्या भांड्यांत एक सछिद्र भांडें ठेवलेलें असतें. या दोन भांड्यांमधील जागेंत सौम्य गंधकाम्ल असून त्यांत एक जस्ताची पट्टी असते. सछिद्र भांड्यांत नत्राम्ल असून त्यांत कार्बन (carbon) ची पट्टी ठेवलेली असते.

जस्तावर गंधकाम्लाचें रासायनिक कार्य होऊन त्यापासून उत्पन्न होणारा हायड्रोजन सछिद्र भांड्यांतून कार्बनकडे जातो, पण तेथें नत्राम्ल असल्यामुळें त्याचें ताबडतोब प्राणिदावन होते (oxidised) व घट निर्बल होत नाही.

या घटांतून एक तांबूस रंगाचा (Nitrogen tetroxide) विषारी वायु निघत असतो. सछिद्र भांड्यांत थोडीशी पोटॅशियम बायक्रोमेट (Potassium bi chromate) ची पूड घातली तर हा वायु निघत नाहीं.

बायक्रोमेट विद्युद्घट (Bichromate cell) या घटांत एकच भांडें असून द्रवहि एकच असतो. यांत जस्ताच्या पट्टीच्या दोन्ही बाजूंस दोन कार्बनच्या पट्ट्या असतात. त्या जस्ताच्या पट्टीस चिकटूं नयेत अशी योजना केलेली असते. या पट्ट्या पोटॅशियम डायक्रोमेटचे संपृक्त द्रावण व गंधकाम्ल यांच्या मिश्रणांत ठेवलेल्या असतात. गंधकाम्लाच्या कार्यामुळें जस्तापासून निघणाऱ्या हायड्रोजनचें पोटॅशियम बायक्रोमेटमुळें प्राणिदावन होतें व घट निर्बल होत नाहीं.



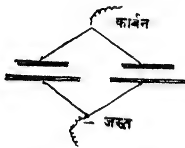
बायक्रोमेट विद्युत् घट

आकृति १५८

घटांची सांधणी.

घटांची सांधणी दोन प्रकारे करतात.

(१) **विषमध्रुव सांधणी** (Joining in series) यांत एका घटांतील जस्ताची पट्टी अथवा ऋणध्रुव (Negative pole) दुसऱ्या घटांतील तांब्याच्या पट्टीशी अथवा धनध्रुवाशीं सांधतात व जितके घट सांधावयाचे असतील तितके सर्व याचप्रमाणें सांधतात. या मालेंत (Battery) विद्युन्मंडळ पूर्ण करण्यास पहिल्या विद्युद्घटांतील धनध्रुव शेवटच्या घटांतील ऋणध्रुवाशीं सांधावा लागतो.



आकृति १५९

(२) **समध्रुव सांधणी** (Joining in parallels), यांत सर्व घटातील धनध्रुव एकमेकांशी व ऋणध्रुव एकमेकांशीं याप्रमाणें सांधून एक मोठा धनध्रुव व एक मोठा ऋणध्रुव तयार करतात.

पहिल्या सांधणींत विद्युन्मालेची वि. सा. श. सर्व घटांच्या विद्युत् सारण शक्तींच्या बेरजेइतकी असते, पण त्या बरोबरच मालेंतील विरोधहि एकंदर घटांच्या आंतील विरोधाच्या बेरजेइतका असतो. म्हणून ज्या मंडलांतून विद्युत् प्रवाह जावयाचा असेल त्याचा विरोध घटांतील विरोधाच्या मानानें फारच कमी असेल तर त्या मालेमुळें मिळणारा प्रवाह एका घटामुळें मिळणाऱ्या प्रवाहापेक्षां फारसा जास्त मिळणार नाहीं, पण मंडलांतील विरोध घटांतील विरोधाच्या मानानें जास्त असेल तर हा प्रवाह एका घटापेक्षां पुष्कळच जास्त मिळेल. तो किती जास्त मिळेल हें पुढील सूत्रांवरून ठरवितां येईल.

$$\text{प्रवाह (ॲम्पीयर)} = \frac{\text{क्ष} \times \text{एका घटाची वि. सा. श. (व्होल्ट)}}{\text{वि. बा.} + \text{क्ष} \times \text{वि. आ. (ओह्म्)}}.$$

क्ष = घटांची संख्या.

वि. बा. = बाहेरील म्हणजे मंडलांतील विरोध.

वि. आ. = एका घटाचा आंतील विरोध.

दुसऱ्या प्रकारच्या सांधणींत सर्व घटांतील धनध्रुव एकत्र व ऋणध्रुव एकत्र याप्रमाणें जोडलेलें असल्यामुळें मालेची वि. सा. श. एका घटाच्या वि. सा. श. इतकीच असते पण आंतील विरोध मात्र

$\frac{\text{एका घटाचा आंतील विरोध}}{\text{घटांची संख्या}}$ इतका असतो; कारण ध्रुवांचा पृष्ठभाग तितक्या पटीनें वाढतो. यावेळीं

$$\text{प्रवाह (ॲम्पीयर)} = \frac{\text{एका घटाची वि. सा. श. (व्होल्ट)}}{\text{वि. बा.} + \text{वि. आ.} \times \text{क्ष.}}$$

म्हणून बाहेरील विरोध जेव्हां कमी असेल तेव्हां या सांधणीमुळें एका घटाच्या 'क्ष' पट प्रवाह मिळेल. याकरतां वि. बा. जास्त असेल तर घटांची सांधणी पहिल्या प्रकारानें करतात, व वि. बा. कमी असेल तर दुसऱ्या प्रकारानें सांधणी करतात.

प्रश्नसंग्रह १८ वा.

(१) विद्युज्जागृत इबोनाइटचा गज आणि प्रवाहवाही तार (wire conveying current) यांच्यांत चुंबकीय परिणामांच्या दृष्टीनें काय फरक आहे ?

(२) रासायनिक क्रियेमुळें विद्युत्प्रवाह उत्पन्न होतो हें सिद्ध करा. साध्या विद्युद्‌घटांत तांब्याची पट्टी धन जागृत व जस्ताची पट्टी ऋण जागृत असते हें कसें सिद्ध कराल ?

(३) साध्या विद्युद्‌घटांत मुख्यःत कोणते दोष आहेत ? ते टाळण्याकरतां कोणचे उपाय योजाल ?

(४) ले क्लँशच्या विद्युद्‌घटाचें वर्णन करा. त्यांत होणाऱ्या रासायनिक क्रियेचें समीकरण लिहा. हा घट विद्युद्‌घंटा वाजविण्याचे कामी विशेषतः उपयोगांत आणतात तें कां ?

(५) पुष्कळ वेळ सारखा प्रवाह हवा असल्यास लेक्लँशचा विद्युद्‌घट वापरतां येत नाहीं तें कां? घट बंद पडल्यावर भग्न मंडल (open circuit) स्थितींत कांहीं वेळ त्यास ठेवलें तर तो पुनः कार्यक्षम होतो तें कां ?

(६) साधा विद्युद्‌घट निर्बल होण्याचें कारण तांब्याच्या पट्टीवर हायड्रोजन जमा होतो हें आहे हें कसें सिद्ध कराल ?

(७) डॅनियलच्या विद्युद्‌घटाचें वर्णन लिहा.त्याचा मुख्य दोष कोणचा ?

(८) विद्युन्मंडलांत घटांतील विरोध बाहेरील विरोधापेक्षां (१) कमी असल्यास (२) जास्त असल्यास विद्युद्‌घटांची सांधणी कशी कराल ?

प्रकरण १९ वें.

चलविद्युत्चे रासायनिक परिणाम

(Chemical effects of an electric current)

विद्युद्वाहकांचे एकंदर दोन प्रकार आहेत.

प्रकार (१) धातू, पारा व विद्युत् प्रवाहामुळें ज्यांचें पृथःकरण होत नाही असें द्रव.

प्रकार (२) विद्युत् प्रवाहामुळें ज्याचें पृथःकरण होतें असें संयुक्त पदार्थांचे द्रव अथवा द्रावणें.

ज्या द्रवांचें विद्युत् प्रवाहामुळें पृथःकरण होतें त्यांना **विद्युद्वाहक द्रव** (Electrolytes) असें म्हणतात. सौम्य गंधकाम्ल अथवा लवणाम्ल तसेंच मीठ,मोरचूद वगैरे क्षारांची द्रावणें यांतून विद्युत्प्रवाह गेला असतां त्यांचें पृथःकरण होतें. म्हणून आम्लें व क्षार (salts) यांच्या द्रावणांना विद्युद्वाहक द्रव (electrolytes) असें म्हणतात.

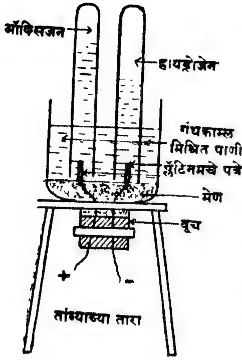
गंधकाम्ल, शुद्ध पाणी, व मद्यार्क यांसारख्या शुद्ध द्रवांचें विद्युत् पृथःकरण होत नाही.

विद्युत् ज्या धातूच्या पट्ट्यांतून द्रवांत प्रवेश करते व द्रवांतून बाहेर पडते त्या पट्ट्यास **विद्युन्मार्ग** (Electrodes) म्हणतात. विद्युत् ज्या पट्टींतून द्रवांत प्रवेश करते तिला **धनविद्युन्मार्ग** (Anode) आणि जिच्यांतून ती बाहेर पडते तिला **ऋणविद्युन्मार्ग** (Cathode) म्हणतात.

विद्युद्विश्लेषण (Electrolysis)

प्रयोग १७०—एका रुंद तोंडाच्या बाटलीचें बूड कापून टाका. बाटलींस घट्ट बसेल असें बूच लावून त्यांत दोन तांब्याच्या तारेचे तुकडे बसवा. तारांच्या बाटलींतील टोंकास,प्रत्येकास एकेक असे प्लॅटिनमच्या पत्र्याचे दोन तुकडे लावा. बुचावर सुमारे एक इंच जाडीचा थर होईल इतकें मेण पातळ करून ओता. या बाटलींत ती तीन चतुर्थांश भरेल इतकें पाणी भरा व त्यांत थोडे गंधकाम्ल टाका. प्लॅटिनमच्या पत्र्याच्या तुकड्यावर

पाण्यानें भरलेल्या दोन परीक्षण नळ्या पालथ्या ठेवा. तांब्याच्या तारेच्या तुकडयाच्या बाटली बाहेरील टोंकास विद्युन्मालेचीं (Battery) टोंकें जोडा. विद्युत् प्रवाह सुरू झाल्याबरोबर प्लॅटिनमच्या तुकडयांपासून वायू निघतात का पाहा, प्लॅटिनमच्या तुकडयांपासून वायूचे बुडबुडे निघतात व परीक्षण नळ्यांत गोळा होतात असें दिसेल. नळयांतील वायूंचें परीक्षण केल्यास **धन विद्युन्मार्गी** anode वरील नळींत प्राणवायु (oxygen) व **ऋण विद्युन्मार्गी** cathode वरील नळींत उज्जवायु (hydrogen) आहेत असें दिसेल.



आकृति १६०

गंधकाम्ल पाण्यांत टाकले म्हणजे त्याच्या अणूंचे विद्युज्जागृत असे तीन भाग होतात. या विद्युज्जागृत भागांना आयन (Ion) असें म्हणतात. या तीन आयनापैकीं दोन आयन उज्जवायुचे (Hydrogen) असतात व उरलेला एक SO_4 चा असतो. हायड्रोजनच्या दोन आयनावरील धन जागृतीच्या इतक्या ऋणजागृतीनें SO_4 चा एक आयन जागृत असतो. अशा प्रकारें गंधकाम्लाच्या अणूंचे जे पृथःकरण होते त्यास **विश्लेषण** dissociation) म्हणतात. हायड्रोजनवरील एकंदर धन जागृति SO_4 वरील ऋणजागृति येवढीच असल्यानें द्रावण (गंधकाम्लाचे) अजागृत असते.

विद्युन्मालेची टोंकें धनविद्युन्मार्गीला(Anode) व ऋणविद्युन्मार्गीला (Cathode) लावतांच, हायड्रोजनचे आयन ऋणविद्युन्मार्गीकडे(Cathode) जाऊन त्यांच्या वरील धनजागृति ऋणविद्युन्मार्गीस देतात व त्यांचे अणू तयार होतात. त्याचप्रमाणें SO_4 चे ऋणजागृत आयन धनविद्युन्मार्गीकडें (Cathode) जाऊनत यांच्यावरील ऋणजागृति त्यास देतात व हे निर्जागृत SO_4 परमाणुसमूह शेजारच्या पाण्यावर कार्य करून गंधकाम्ल व ऑक्सिजन तयार करतात. हा ऑक्सिजन नळींत गोळा होतो. याप्रमाणें विद्युत्च्या साहय्यानें पाण्याचे पृथःकरण करण्याच्या क्रियेला **विद्युद्विश्लेषण**

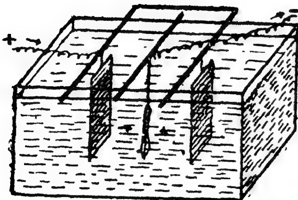
(Electrolysis) म्हणतात. गोळा झालेल्या वायूंचे आकारमान मोजल्यास असें आढळून येईल कीं, हायड्रोजनचे आकारमान ऑक्सिजनच्या आकारमानाच्या दुप्पट असते.

प्रयोग १७१—सौम्य गंधकाम्लाचें द्रावणाऐवजी मोरचुदाचें द्रावण घेऊन प्रयोग करा. ऋणविद्युन्मार्गावर (Cathode) हायड्रोजनच्याऐवजीं काय गोळा होतें पाहा. यावेळीं तेथें तांबे जमतें असें दिसेल.

सौम्य गंधकाम्लाऐवजीं मोरचुदाचें द्रावण घेतल्यानें द्रावणांत हायड्रोजन व SO_4 यांच्या आयनांचेऐवजीं,तांबें वSO_4 चे आयन निर्माण होतात व मागें सांगितल्याप्रमाणें तंतोतंत कार्य होऊन ऋणविद्युन्मार्गावर तांबें जमा होते.

धातूंच्या क्षारांचे विद्युद्विश्लेषण केल्यास धातू नेहमीं ऋणविद्युन्मार्गावर जमा होतात. याच तत्त्वावर विद्युद्धात्वारोहण (विद्युत्चे साहय्यानें मुलामा देणें) (Elctro plating) करण्याची कृति अवलंबून आहे. ज्या धातूचा मुलामा द्यावयाचा असेल त्याच धातूच्या पाण्यांत विरघळणारा क्षार घेऊन, त्याच धातूच्या पट्टीचा धनविद्युन्मार्ग (Anode) म्हणून उपयोग करतात. द्रावणांत उत्पन्न होणारे ऋणजागृत आयन धनविद्युन्मार्गावर म्हणजे त्या धातूवर कार्य करतात व ज्या गतीनें द्रावणांतून तो धातू ऋणविद्युन्मार्गावर जमत असेल त्याच गतीने ते तो धातु धनविद्युन्मार्गातून (Anode) काढून घेतात. यामुळें द्रावणांत विरघळलेल्या क्षाराचे प्रमाण कायम राहते. म्हणजे या कृतींत (ॲनोड) धनविद्युन्मार्गापासून काढून घेतलेला धातु द्रावणांतून विद्युत्च्या साहय्याने ऋणविद्युन्मार्गाकडे पोचविला जातो.

विद्युद्धात्वारोहण) Electroplating) मुलामा देणें.



आकृति १६१

ज्या धातूचा मुलामा द्यावयाचा असेल त्या धातूच्या पाण्यांत विरघळणाऱ्या क्षाराचे एका मोठ्या कांचेच्या भांड्यांत द्रावण घ्या. ज्या पदार्थावर मुलामा द्यावयाचा असेल तो पदार्थ कॅस्टिक सोडा, नायट्रिक ॲसिड व शुद्ध पाणी यांनी धुवून स्वच्छ करा व भांड्याच्या मध्यभागीं ठेवलेल्या

जाड तारेपासून द्रावणांत लोंबत ठेवा. या पदार्थांच्या दोन्ही बाजूस ज्या धातूचा मुलामा द्यावयाचा असेल त्या धातूचे पत्रे दुसऱ्या जाड तारेवरून लोंबत ठेवा. विद्युद्त्घटांतील तांबें अथवा कार्बन यापासून येणारी तार या पत्र्यांस जोडा व जस्तापासून येणारी तार ज्या पदार्थास मुलामा द्यावयाचा आहे त्यास जोडा. विद्युत्प्रवाहानें ज्या धातूचा मुलामा द्यावयाचा असेल त्या धातूचा थर त्या पदार्थावर बसूं लागतो असें दिसेल.

चांदीचा अथवा सोन्याचा मुलामा द्यावयाचा असल्यास पोटॅशियम सायनाइडचे द्रावणाचा (१ लिटरमध्यें ५० ग्रम) उपयोग करावा.

फॅरॅडनें निरनिराळ्या विद्युद्वाहक द्रवावर प्रयोग करून पुढील नियम ठरविलें आहेत.

(१) एकाच विद्युन्मंडलांत जर निरनिराळें विद्युद्वाहक द्रव ठेवलेले असतील तर विद्युत्प्रवाहामुळें प्रत्येक द्रवांतून मोकळ्या होणाऱ्या मूलद्रव्यांच्या आयनांचें पदार्थमान त्या पदार्थांच्या संयोगभारांकांच्या प्रमाणांत असते.

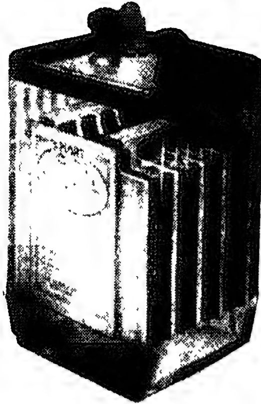
(२) विद्युद्वाहक द्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या मूल द्रव्यांचें वजन द्रवांतून वाहणाऱ्या विद्युत् प्रवाहावर अवलंबून असतें.

विद्युत्च्या सहाय्यानें ठसा तयार करणें (Elctrotyping).

या कृतींत जो मजकूर छापावयाचा असेल त्याचे खिळे जुळवून त्याचा मेणाचा अथवा प्लॅस्टरचा साचा तयार करून घेऊन त्यावर सगळीकडे ग्रॅफाइट (शिसपेन्सिलीचे शिसें) चोळतात. ग्रॅफाइटमुळें तो विद्युद्वाहक होतो. अशा रीतीनें तयार केलेला साचा मोरचुदाचे द्रावणांत ऋणविद्युन्मार्ग (cathode) म्हणून ठेवून धनविद्युन्मार्ग (anode) म्हणून शुद्ध तांब्याचा पत्रा उपयोगांत आणतात. चांगल्या जाड कागदा इतका जाड तांब्याचा थर साच्यावर जमल्यानंतर तो बाहेर काढतात. त्यांतील मेण काढून टाकून त्यास टाइप पाडण्याच्या धातूच्या पत्र्याचा आधार देतात. आधार दिल्यानें तयार झालेल्या तांब्याच्या साचास टणकपणा येतो. ज्या पुस्तकांच्या हजारों प्रती व पुष्कळ आवृत्ती काढावयाच्या असतात तीं छापण्याकरतां असल्या टाइपांचा (ठश्यांचा) उपयोग करतात.

संग्राहक घट (Accumilators).

प्रयोग १७२—एका पेल्यांत थोडें सौम्य गंधकाम्ल घ्या व त्यांत दोन प्लॅटिनमच्या पट्टया ठेवा. विद्युन्मालेचीं टोंकें प्रवाहदर्शकामार्फत प्लॅटिनमच्या पट्टयांस जोडून गंधकाम्लांतून प्रवाह कांहीं वेळ जाऊं द्या. प्रवाह दर्शकाच्या सहाय्यानें विद्युन्मालेचा प्रवाह गंधकाम्लांतून कोणच्या दिशेनें वाहात होता तें ठरवा. पट्टयांचा विद्युन्मालेशीं असलेला संबंध तोडून त्या एकमेकीस जोडा व गंधकाम्लांतून आतां प्रवाह कोणच्या दिशेनें वाहात आहे तें पाहा. तो आतां उलट दिशेनें वाहात आहे असें दिसेल.



आकृति १६२

प्रयोग १७३—एका पेल्यांत थोडें सौम्य गंधकाम्ल घ्या व त्यांत दोन शिशाच्या पट्टया ठेवा. विद्युन्मालेचीं टोकें प्रवाह दर्शकामार्फत शिशाच्या पट्टयांस जोडून गंधकाम्लांतून कांहीं वेळ प्रवाह जाऊं द्या. शिशांच्या पट्टयांत कांहीं फरक होतो का पाहा. तसेंच विद्युत्प्रवाह गंधकाम्लांतून कोणच्या दिशेनें वाहात होता हेंहि पाहा. पट्टयांचा विद्युन्मालेशी असलेला संबंध तोडून त्या एकमेकीस जोडा व शिशाच्या पट्टयांत आतां कांहीं फरक होतो का पाहा. तसेंच याहि वेळीं प्रवाहाची दिशा पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं पहिल्यानें विद्युन्मालेचा प्रवाह गंधकाम्लांतून वाहात असतां पाण्याच्या विद्युद्विश्लेषणामुळें उत्पन्न होणारा ऑक्सिजन शिशाच्या ज्या पट्टीकडे जातो त्या पट्टीवर शिसें व ऑक्सिजन यांच्या संयोगामुळें शिशाचा तांबूस रंगाचा ऑक्साइड तयार होतो व दुसऱ्या पट्टीपासून हायड्रोजनचे बुडबुडे निघतात. विद्युत्मालेचा ज्या वेळीं संबंध तोडतो त्या वेळीं विद्युत्प्रवाह उलट दिशेनें वाहूं लागतो व शिशाच्या ऑक्साइडचें पुनः शिसें होतें.

दोन विजातीय धातूच्या पट्टया विद्युद्ग्राहक द्रवांत ठेवल्या असतां विद्युद्घट तयार होतो. ही गोष्ट आपणास माहित आहे. या ठिकाणीं आपण

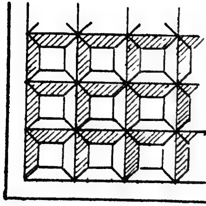
विद्युत्प्रवाहामुळें दोन सजातीय पट्टयांचे विजातीय पट्टयांत पहिल्यानें रूपांतर करतों. या विजातीय पट्ट्या जेव्हां आपण विद्युद्वाहक द्रवांत ठेवतो तेव्हां आपणास साध्या विद्युद्घटाप्रमाणें प्रवाह मिळतो. सजातीय पट्टयांचे विजातीय पट्टयांत रूपांतर करतांना विद्युत् शक्तीमुळें रासायनिक कार्य होतें व ज्या वेळीं या विजातीय पट्ट्या विद्युद्वाहक द्रवांत ठेवतों त्यावेळीं रासायनिक कार्यामुळें विद्युत् शक्ति निर्माण होते.

याच तत्वाचा संग्राहक घटांतून विद्युत् संग्रह करण्याचे कामीं उपयोग करतात.

असल्या प्रकारचा विद्युत्घट पहिल्यानें प्लँटेनें तयार केला. त्या घटांत दोन शिशाच्या पत्र्यांमध्यें बुर्णुसासारखा विद्युद्रोधक पदार्थ ठेवून त्यांची गुंडाळी करून ती सौम्य गंधकाम्लांत ठेवलेली असे.

या घटांतून विद्युत्प्रवाह जाऊं दिला म्हणजे वर सांगितल्याप्रमाणें कार्य होऊन एका पट्टीवर शिशाचा प्राणिद (oxide) तयार होतो व दुसरीपासून हायड्रोजन निघूं लागतो. कांहीं वेळानंतर प्रवाहाची दिशा बदलली म्हणजे याच्या उलट कार्य होऊन शिशाच्या प्राणिदाचें शिशांत रूपांतर होते व दुसऱ्या पट्टीवर शिशाचा प्राणिद तयार होऊं लागतो. याप्रमाणें या घटांत उलट सुलट दिशांनी थोडाथोडा वेळ प्रवाह जाऊं दिल्यास दोन्ही पट्ट्या स्पंजसारख्या चांगल्या खरखरीत होऊन त्यांचा पृष्ठ भाग वाढतो व त्यामुळें त्यांचेवर शिशाच्या प्राणिदाचा जाड थर तयार होऊं शकतो. याप्रमाणें विद्युत्प्रवाहाचे सहाय्यानें एक पट्टी शिशाच्या प्राणिदाची (lead peroxide) व दुसरी शिशाची करून घेतात. या कृतीस **संस्करण** (forming) म्हणतात. साध्या विद्युद्घटांत ज्याप्रमाणें तांब्याकडून जस्ताकडे विद्युत् वाहते त्याप्रमाणें या घटांत शिशाच्या प्राणिदाकडून शिशाच्या पट्टीकडे विद्युत् वाहते.

असल्याप्रकारचे जे विद्युद्घट अलीकडे वापरतात त्यांत संस्करण लवकर व्हावे म्हणून शिशाच्या पट्टयांचे ऐवजीं शिशाच्या जाळ्या वापरतात व या जाळ्यांतून शिशाचा प्राणिद (lead oxide) व गंधकित (lead sulphate) यांचा लगदा घट्ट बसवितात.



आकृति १६३

हा घट जागृत करण्याकरतां जेव्हां त्यांत प्रवाह सोडतात तेव्हां त्यांत पुढें दाखविल्याप्रमाणें कार्य होतें.

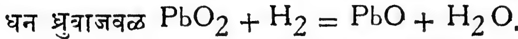


धन विद्युन्मार्गाजवळ $\left\{ \begin{array}{l} PbSO_4 + O + H_2O = \\ \quad PbO_2 + H_2SO_4. \end{array} \right.$



ऋण विद्युन्मार्गाजवळ $\left\{ \begin{array}{l} PbSO_4 + H_2 = \\ \quad Pb + H_2SO_4. \end{array} \right.$

व या घटापासून जेव्हां विद्युत्प्रवाह मिळतो तेव्हां त्यांत पुढील कार्य होतें.



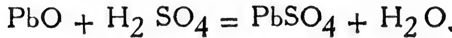
धन ध्रुवाजवळ $PbO_2 + H_2 = PbO + H_2O.$



$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$



ऋण ध्रुवाजवळ $Pb + O = PbO.$



$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$

यावरून दिसून येईल कीं, घट जागृत करीत असतां त्यांत गंधकाम्ल उत्पन्न होत असल्यानें घटांतील द्रवाची घनता वाढते व तो अजागृत होत असतां त्यांतील आम्ल कमी होऊन शिशाचा गंधकित तयार होतो त्यामुळें त्यांतील द्रवाची घनता कमी होते. म्हणून द्रवाच्या घनतेवरून घट पूर्ण जागृत झाला आहे किंवा नाहीं तें ठरवितात.

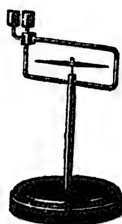
या घटांत या जाळया एक सोडून एक अशा एकमेकीस सांधून धन व ऋण ध्रुव तयार करतात.

विद्युत् प्रवाहाचे चुंबकीय परिणाम (Magnetic effects of an electric current.

ज्या तारेंतून विद्युत्प्रवाह वाहात असतो ती तार चुंबकीय सुईवर धरली तर सुई विचलित होते ही गोष्ट आपण मागें पाहिलीच आहे. हा परिणाम अधिक सविस्तरपणें अभ्यासण्याकरतां **ओअरस्टीड** (Oersted) नें पुढीलप्रमाणें प्रयोग केला.

प्रयोग १७४--ज्या तारेंतून विद्युत्प्रवाह जाऊं द्यावयाचा असेल ती तार चुम्बकमध्यपातळींत व क्षितिजसमांतर अशी चुंबकसुई वर धरा. प्रवाह

उत्तरेंकडून दक्षिणेकडे जाऊं द्या व सुईचा उत्तर धृव कोणच्या दिशेस



वळतो हें पाहा. प्रवाहाची दिशा बदला म्हणजे त्यास आतां दक्षिणेकडून उत्तरेकडून जाऊं द्या. सुईचा उत्तर-धृव यावेळीं कोणच्या दिशेस वळतो हें पाहा. तार सुईचेखालीं धरून याचप्रमाणें प्रयोग करा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

आकृति १६४

सुईची स्थिति	प्रवाहाची दिशा	सुईच्या उत्तर ध्रुवाच्या विचलनाची दिशा.
तारेचे खाली	उत्तर ते दक्षिण	पूर्वेकडे
तारेचे खाली	दक्षिण ते उत्तर	पश्चिमेकडे
तारेचेवर	उत्तर ते दक्षिण	पश्चिमेकडे
तारेचेवर	दक्षिण ते उत्तर	पूर्वेकडे

वरील निरीक्षणांचे अवलोकन केल्यास असें आढळून येईल कीं प्रवाह सुईचेवरून ज्या दिशेनें वाहतो त्याचेविरुद्ध दिशेनें सुईचे खालून वाहिल्यास सुईचा उत्तर ध्रुव एकाच बाजूस विचलित होतो. म्हणून क्षीण प्रवाहाचा सुईवरील परिणाम वाढविण्याकरतां ज्या तारेंतून तो प्रवाह वाहत असेल ती तार सुईच्या खालून व वरून गुंडाळतात.

त्याचप्रमाणें वरील प्रयोगावरून असेंहि दिसून येईल कीं विद्युत्प्रवाहामुळें ज्या तारेंतून प्रवाह वाहतो तिचेभोंवतीं चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होतें व त्यामुळें सुईचें विचलन तारेशी काटकोन करणाऱ्या दिशेकडे होतें.

वरील निरीक्षणांवरून अम्पीयरनें पुढील नियम ठरविला आहे.

पोहणारा माणूस आपले तोंड सुईकडे करून प्रवाहाच्या

दिशेनें पोहत आहे अशी कल्पना केल्यास त्याचा डावा हात ज्या बाजूस असेल त्या बाजूस सुईचा उत्तर ध्रुव वळतो.

प्रयोग १७५–एका जाड खरड्यास मधोमध छिद्र पाडून त्यांतून एक जाड तांब्याची तार घाला व तो क्षितिज समांतर पातळींत ठेवा. तार उभी राहील अशा रीतीनें पकडींत धरा व. प्रबल विद्युत प्रवाह तारेंतून वरून खालीं जाऊं द्या. लहान चुंबक कांटा तारेजवळ तारेच्या उत्तरेकडे, पूर्वेकडे, दक्षिणेकडे आणि पश्चिमेकडे ठेवा व काट्याचें उत्तर टोंक प्रत्येक वेळीं कोणच्या दिशेकडे असतें तें पाहा. प्रवाह नंतर खालून वर जाऊं द्या व पूर्वीप्रमाणें चुंबक कांटा तारेजवळ निरनिराळ्या दिशांकडे ठेवून त्यांचें उत्तर टोंक प्रत्येक वेळी कोणीकडे असतें तें पाहा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

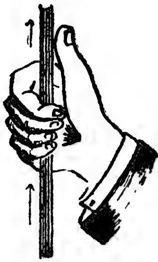
सुईची स्थिति	उत्तर टोंक कोणच्या दिशेकडे वळतें.	
	प्रवाह वरून खाली	प्रवाह खालून वर
उत्तरेकडे	पूर्व	पश्चिम
पूर्वेकडे	दक्षिण	
दक्षिणेकडे	पश्चिम	
पश्चिमेकडे	उत्तर	

या निरीक्षणांवरून पुढील नियम ठरवितां येतात.

मॅक्सवेलचा नियमः—प्रवाह ज्या दिशेकडे जात आहे त्याच दिशेकडे बुचें काढण्याचा उजवा स्क्रू (right hand screw) तारेवरून फिरविला तर ज्या दिशेनें आंगठा फिरेल त्या दिशेनें उत्तर ध्रुव फिरतो.

अथवा

अँपीयरचा नियमः---प्रवाह ज्या दिशेकडे वाहतो त्या दिशेकडे


आकृति १६५

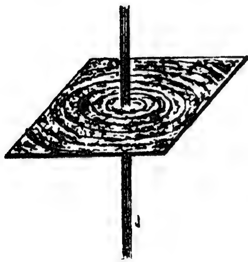
आंगठा करून ज्या तारेंतून प्रवाह वाहात आहे ती तार, उजव्या हातांत धरली तर सुईच्या उत्तर टोंकाची दिशा बोटांच्या टोकांनीं दर्शविली जाते.

अथवा

तारेंतून प्रवाह ज्या दिशेकडे वाहात असेल तिकडे तोंड करून उभे राहून आपल्याकडे घड्याळाची तबकडी केली तर घड्याळाचे कांटे ज्या दिशेनें फिरतात त्या दिशेनें उत्तरध्रुव फिरतो.

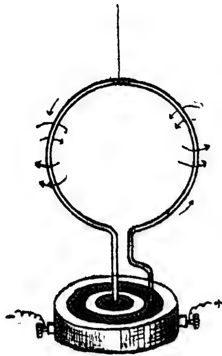
ज्या तारेंतून प्रवाह वाहतो त्या तारेभोंवतीं असलेल्या चुंबकीय क्षेत्राचा नकाशा, चुंबकाप्रमाणें, लोखंडी किसाच्या साहाय्यानें काढतां येतो.

प्रयोग १७६—वरील प्रयोगामध्यें सांगितल्याप्रमाणें प्रयोगाची मांडणी करून तारेंतून प्रबल विद्युत् प्रवाह (सुमारें ४० अम्पीयर) वाहूं द्या. खरड्यावर लोहकण पसरा व खरड्यास टिचक्या मारा. लोह-कणांची कांहीं विवक्षित प्रकारची रचना होते का पाहा. लोहकणांची रचना विविक्षित प्रकारें होते व तारेच्या ठिकाणीं मध्य असणाऱ्या एकमध्य वर्तुळांप्रमाणें असते असें दिसेल.


आकृति १६६

प्रयोग १७७—गोल वांकविलेलें तारेचें वेटोळें एका दोऱ्यानें टांगा. तारेचीं टोंकें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें पाण्याच्या भांड्यांत बुडूं द्या. ४–५ घटांच्या विद्युमालेपासून मिळणारा प्रवाह तारेंतून जाऊं द्या. तारेच्या वेटोळयांचा एक पृष्ठभाग उत्तरेकडे येईतों तें वेटोळें फिरतें असें दिसेल. या पृष्ठभागापासूनच चुंबकीय बलरेषा निघतात व दुसऱ्या पृष्ठभागांतून आंत शिरतात. या वेटोळ्यांच्या उत्तरेकडील पृष्ठभागाजवळ चुंबक पट्टीचा उत्तरध्रुव आणा व वेटोळ्यावर चुंबक पट्टीचा काय परिणाम होतो तो

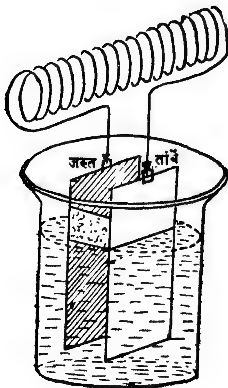
पाहा. तें वेटोळें चुंबकापासून दूर ढकललें जातें असें दिसेल. याचप्रमाणें त्याच वेटोळयाच्या दक्षिणेकडील भागाजवळ चुंबक पट्टीचा उत्तरध्रुव आणा व काय होतें तें पाहा. तें आतां चुंबकाकडे ओढलें जातें असें दिसेल.



आकृति १६७

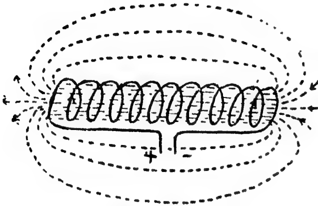
यावरून ज्या तारेच्या वेटोळयांतून प्रवाह वाहात असेल तें वेटोळें एका पृष्ठभागाकडे दक्षिण व दुसऱ्या पृष्ठभागाकडे उत्तरध्रुव असलेल्या चुंबकीय चकतीसारखें असतें हे सिद्ध होतें.

प्रयोग १७८—पारा लावलेली जस्ताची पट्टी, व तांब्याची पट्टी अशा दोन पट्टया मेण लावलेल्या बुचांत एकमेकींस स्पर्श करणार नाहींत अशा रीतीनें बसवा. या दोन पट्टया रोधित तारेच्या वेटोळयानें (spiral) एकमेकींस सांधा. पट्टया बसविलेलें बूच सौम्य गंधकाम्ल व पोटॅशियम डायक्रोमेटचें द्रावण असलेल्या कांचेच्या भांडयांत तरंगत ठेवा. तारेच्या वेटोळयाचा आंस कोणत्या दिशेनें असतो तें पाहा. वेटोळयाचा आंस उत्तर दक्षिण होईतों वेटोळें फिरतें व नंतर स्थिर होतें असें दिसेल. वेटोळयाचें एकच टोंक चुंबककांट्याच्या उत्तर व दक्षिण ध्रुवाजवळ न्या व काय होतें तें पाहा. त्या वेटोळयाचें टोंक चुंबक कांटयाच्या एका टोंकास आकर्षितें व दुसऱ्यास प्रतिसारतें असें दिसेल.



आकृति १६८

यावरून तारेच्या वेटोळयांतून विद्युत्प्रवाह जर वाहात असेल तर तें वेटोळें पट्टीच्या चुंबकासारखें होतें व त्याचे चुंबकीय ध्रुव त्याच्या टोंकांकडे असतात हें सिद्ध होतें.



आकृति १६९

या वेटोळयाच्या चुम्बकक्षेत्राचा नकाशा आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें असतो. या चुंबकाचे उत्तर आणि दक्षिणध्रुव ठरविण्याकरतां पुढील नियम उपयोगांत आणतात.

नियमः—प्रवाह ज्या दिशेकडे वाहतो त्या दिशेकडे बोटांची टोंकें करून जर हें वेटोळें उजव्या हातांत धरलें, तर अंगठा ज्या बाजूस असेल त्या बाजूस या चुंबकाचा उत्तर ध्रुव असतो.

हा नियम व अम्पियरचा उजव्या हाताचा नियम हे एकच आहेत असें आढळून येईल.

या वेटोळयाच्या चुंबकाचे उत्तर व दक्षिण ध्रुव माहीत असल्यास त्यांतून वाहणाऱ्या प्रवाहाची दिशा खालील नियमानें ठरवितात.

नियमः—उजव्यां हाताचा अंगठा वेटोळयाच्या उत्तर ध्रुवाकडे करून जर हें वेटोळें उजव्या हातांत धरलें तर बोटांचीं टोंकें प्रवाह वाहण्याची दिशा दर्शवितात.

विद्युच्चुंबक (Electromagnet).

प्रयोग १७९—रोधित तार एका कांचेच्या नळी भोंवतीं गुंडाळा. या तारेची टोंकें विद्युन्मालेस जोडा. चुंबक कांट्या पासून कांहीं अंतरावर ही नळी ठेवा व चुंबक कांटयाचें विचलन किती होतें तें पाहा. कांचेच्या नळींत नरम लोखंडाचा तुकडा ठेवून ती नळीं पुनः चुंबक कांटयापासून तेवढयाच अंतरावर ठेवा व कांट्याचे विचलन पूर्वी इतकेंच होतें किंवा त्या पेक्षां अधिक होतें तें पाहा. तें पूर्वी पेक्षां पुष्कळच अधिक होतें असें तुम्हांस दिसेल.

यावरून प्रवाहवाही तारेच्या (wire conveying a current) वेटोळयांत नरम लोखंडाचा तुकडा ठेवल्यास त्याची चुंबकशक्ति वाढते असें दिसेल.

नरम लोखंडाचा तुकडा चुंबकाच्या चुंबकीय क्षेत्रांत ठेवला असतां ज्या प्रमाणें प्रवर्तनानें चुंबक बनतो त्याचप्रमाणें याहि ठिकाणी तो प्रवाहवाही तारेच्या वेटोळ्याच्या चुंबकक्षेत्रांत असल्यानें प्रवर्तनानें चुंबक बनतो. वेटोळे व आंतील नरम लोखंडाचा तुकडा दोन्हीहि एकाच प्रकारचें चुंबकीय क्षेत्र निर्माण करीत असल्यानें वेटोळयाची चुंबकशक्ति वाढते. तारेंतून वाहणारा विद्युत्प्रवाह बंद केला तर नरम लोखंडी तुकड्यांतील चुंबकत्व नाहीसे होते व प्रवाहाची दिशा बदलली तर नळींत असलेल्या लोखंडी चुंबकाच्या ध्रुवांची अदला बदल होतें. ज्या वेटोळयांत याप्रमाणें नरम लोखंडाचा तुकडा अथवा लोखंडी तारा घातलेल्या असतात त्या गुंडाळीस किंवा वेटोळयास **विद्युच्चुंबक** म्हणतात.

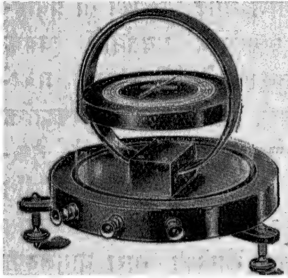
चुंबकीय बलरेषां हवेंतून न जातां पूर्णपणें लोखंडांतून जातील असा आकार विद्युच्चुंबकास दिल्यास त्याची चुंबकशक्ति पुष्कळच वाढते. विद्युचुंबक बहुधा नालाकार असून त्याची दोन्ही तोंडें पूर्णपणें झांकलीं जातील अशी एक नरम लोखंडाची पट्टी त्याच्या टोंकांस लावून ठेवतात. या पट्टीस चुंबकरक्षक (armature) म्हणतात. या लोखंडी पट्टीमुळें चुंबकीय बलरेषा हवेंतून न जातां पूर्णपणें लोखंडातूनच जातात व त्यामुळें विद्युच्चुंबकाची चुंबकशक्ति वाढते. या चुंबकाची शक्ति, फेऱ्यांची संख्या × प्रत्येक फेऱ्यांतून वाहणाऱ्यां ॲम्पीयरची संख्या, या गुणाकारावर म्हणजे (ampere turns) वर अवलंबून असते.

प्रवाहमापक (Galvanometer).

हीं यंत्रें साधारणतः दोन प्रकारची असतात. प्रवाहवाही तारेचें वेटोळें हें एक प्रकारचें चुंबक असतें ही गोष्ट वर सिद्ध केलीच आहे. आपण जेव्हां एक चुंबक दुसऱ्या चुंबका जवळ आणतो तेव्हां या दोहोंपैकीं जो चुंबक हलूं शकत असेल त्याचे विचलन होते व हें विचलन त्याच्या ध्रुवावर असणाऱ्या जोराच्या (force) प्रमाणांत असते.

प्रकार १ ला—यांत रोधित तारेच्या गुंडाळीच्या मध्यभागीं चुंबक सुई टांगलेली असते. गुंडाळींतून विद्युत्प्रवाह जाऊं लागतांच गुंडाळीचा चुंबक तयार होतो व त्यामुळें सुई विचलित होते. तारेच्या गुंडाळींतून जाणारा प्रवाह ज्या मानानें प्रबल असेल त्या मानाने विचलनहि अधिक

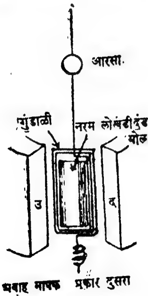
होते. तारेच्या गुंडाळींतून जाणाऱ्या प्रवाहाचा चुंबकीय परिणाम स्पष्टपणें

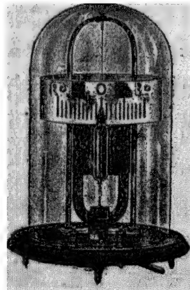


आकृति १७०

दिसावा म्हणून या गुंडाळींत एकापेक्षां अधिक फेरे असतात. सुईचें विचलन मोजतां यावे म्हणून सुईच्या खालीं अंशांच्या खुणा केलेला गोल खरडा असतो.

सुरवातीस ही गुंडाळी चुंबकमध्यपातळींत ठेवतात. हिच्यांतून प्रवाह जाऊं लागला म्हणजे गुंडाळीं भोंवतीं चुंबक क्षेत्र उत्पन्न होते व त्यामुळें सुई गुंडाळीच्या पातळीशीं काटकोन करणाऱ्या म्हणजे पूर्व—पश्चिम दिशेकडे ढकलली जाते. याच सुईवर भू चुंबकाचाहि परिणाम होत असल्यानें तिची दक्षिणोत्तर राहण्याची प्रवृत्ति असते. म्हणून सुई दक्षिणोत्तर किंवा पूर्व पश्चिम अशी न राहतां,भू-चुम्बक व प्रवाह वाही गुंडाळी याच्या संयुक्त क्षेत्राची जी दिशा असेल त्या दिशेने स्थिर होते. प्रवाहाचे चुंबक क्षेत्र जेव्हां कमी जोरदार असते म्हणजे प्रवाह क्षीण असतो तेव्हां ती दक्षिणोत्तर या दिशेकडे अधिक झुकलेली असते. याचे उलट प्रवाहाचे क्षेत्र जेव्हां जोरदार असते म्हणजे प्रवाह प्रबल असतो तेव्हां ती पूर्व—पश्चिम दिशेकडे अधिक कललेली असते, अथवा चुम्बकभूमध्यपातळीशीं मोठा कोन करते.



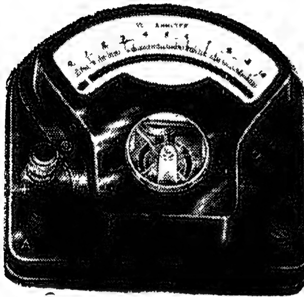


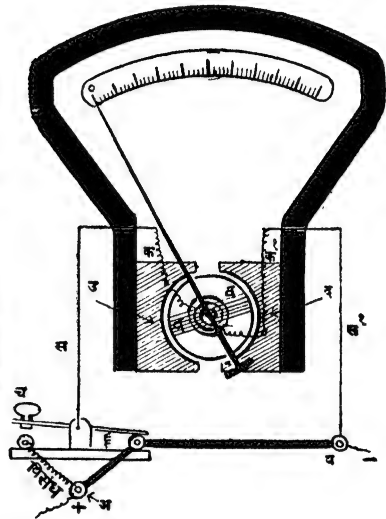
आकृति १७१

प्रकार २ रा—यांत एका नालाकार चुम्बकाच्या दोन ध्रुवांमध्यें एक तारेची गुंडाळी टांगलेली असते.ज्या वेळीं गुंडाळींतून प्रवाह वाहात नसेल त्यावेळीं वेटोळ्याची पातळी चुंबक बलरेषांना समांतर राहावी म्हणून हिच्या खालच्या अंगास एक कमान (spring) बसविलेली असते. ज्या तारेनें ही गुंडाळी टांगलेली असते त्या तारे-

तूनच प्रवाह गुंडाळींत शिरतो व कमानींतून बाहेर जातो. प्रवाह वाहूं लागला म्हणजे ही गुंडाळी फिरते, ती किती फिरते हे तिला लावलेल्या दर्शकानें, अथवा ज्या तारेनें ती टांगलेली असते तिला लावलेल्या आरशाच्या सहाय्याने पाहाता येते. हे यंत्रचुंबकमध्यपातळींत ठेवण्याची आवश्यकता नसते.

अम्मीटर (Ammeter). हें यंत्र तत्वतः दुसऱ्या प्रकारच्या प्रवाह मापकासारखे असते. यांत प्रवाहाचा जोर गणित न करतांच पाहतां येतो. यांत एका नालाकार चुंबकाच्या दोन ध्रुवांमध्यें एक नरम लोखंडी दंड गोल बसवून गुंडाळीनें व्यापलेल्या जागेंत चुंबक बलरेषा केंद्रित केलेल्या





आकृति १७२

असतात. या यंत्रांत 'अ' याठिकाणीं प्रवाह प्रवेश करतों व तेथून 'स' या बारीक तारेच्या द्वारें 'क' या कमानींतून गुंडाळींत शिरतो. तेथून 'क¹' या कमानींतून 'स¹' या तारेच्या द्वारें 'ब'मध्यें येतो व तेथून तो बाहेर पडतो. 'अ' आणि 'ब' ही ठिकाणें एका जाड तारेनें सांधलली असतात. जाड तारेमुळें प्रवाह वाहण्यास अडथळा होत नाहीं व त्यामुळे प्रवाहाचा जोर कमी होत नाहीं. गुंडाळींतून प्रवाह वाहूं लागला म्हणजे गुंडाळीस लावलेला

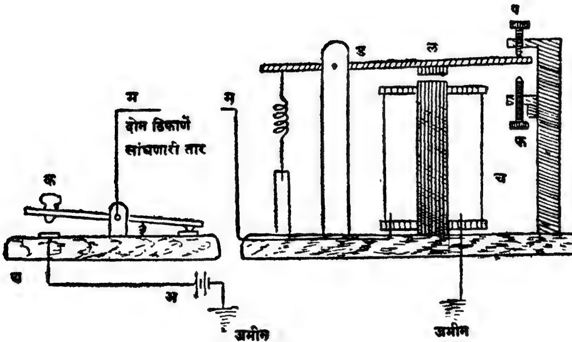
कांटा घड्याळाच्या कांट्याप्रमाणें डावीकडून उजवीकडे फिरावा अशी योजना केलेली असते.

विद्युद्दाबमापक (Volt meter) याची रचना तंतोतंत अम्मीटरसारखीच असते. यांत 'अ' आणि 'ब' यांना सांधणारी जाड तार नसते पण 'अ' आणि 'स' यांच्यामध्यें मात्र पुष्कळ विरोधशक्ति असलेली बारीक तार असते. या विरोधक तारेमुळें यंत्रांतून फारच थोडा प्रवाह वाहतो व त्यामुळें दोन टोंकामधील विद्युद्दाबांत जवळजवळ मुळीच फरक होत नाही. 'च' ही किल्ली दाबून आकृतिमध्यें दाखविलेल्या अम्मीटरचा विद्युद्दाबमापक (Voltmeter) म्हणून उपयोग करता येतो.

विद्युच्चुंबकाचे कांहीं व्यावहारिक उपयोग.

(१) **तारायंत्र** (Electric telegraph)

तारायंत्रांत मुख्यतः तीन भाग असतात. (१) विद्युद्घट माला किंवा **विद्युन्माला** (Battery), (२) किल्ली (Key) आणि **निनादक** (Sounder) या यंत्रांत निनादकाचे (Sounder)चें कार्य महत्त्वाचे असते.

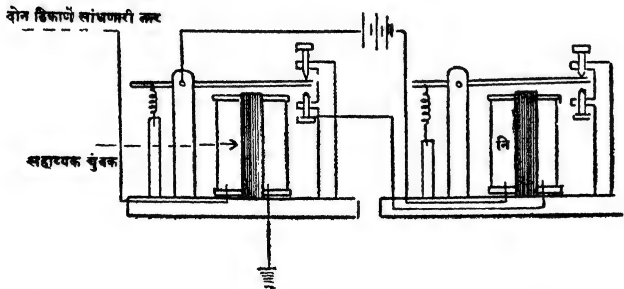


आकृति १७३

'अ' ह्या विद्युद्घट मालेचा धनध्रुव 'ब' या पितळी पट्टीशीं व ऋणध्रुव जमीनीशी जोडलेला असतो. 'क' ही किल्ली दोन ठिकाणें सांधणाऱ्या 'म' या तारेशी जोडलेली असते. 'च' या विद्युचुंब-काच्या गुंडाळीचें एक टोंक 'म' शीं सांधलेलें असतें व दुसरें जमीनींत

पुरलेलें असतें. 'च' या विद्युच्चुंबकावर असणारा 'ल' हा नरम लोखंडी तुकडा (Armature) 'प' आणि 'फ' या वरखालीं करतां येणाऱ्या दोन स्क्रूच्या मध्येंच हलूं शकणाऱ्या 'ड' पट्टीस जोडलेला असतो. 'क' ही किल्ली 'ब' वर दाबल्यानें जमीनीचे द्वारा विद्युन्मंडळ पूर्ण होतें, व 'च' या विद्युच्चुबकाच्या गुंडाळींतून प्रवाह वाहूं लागतो. प्रवाह वाहूं लागतांच 'च' मध्यें चुंबकत्व येते व त्यामुळें 'ल' हा नरम लोखडी तुकडा 'च' कडे ओढला जातो व त्यास जोडलेली 'ड' ही पट्टी 'फ' या स्क्रूवर आपटते. ज्यावेळीं प्रवाह बंद होतो त्यावेळीं 'च' मधील चुंबकत्व नाहींसें होतें व 'ड' ह्या पट्टीचें दुसरें टोंक कमानी (spring) नें खालीं ओढल्यामुळें ती 'प' या स्क्रूवर आपटते. ज्या मानानें विद्युन्मंडलांतून प्रवाह जास्त किंवा कमी वेळ वाहातो त्या मानानें 'फ' आणि 'प' या स्क्रूवर आपटण्याच्या 'ड' या पट्टीच्या वेळांतहि फरक होतो. 'ड' च्या 'फ' आणि 'प' वर आपटण्याच्या वेळांत होणाऱ्या फरकावर तारायंत्राची भाषा (Code) बसविलेली असते. हा वेळ थोडा असल्यास 'कट्ट' असा आवाज होतो व जास्त असल्यास 'कड' असा आवाज होतो. 'कड' आवाजास लागणारा वेळ 'कट्ट' ला लागणाऱ्या वेळेच्या तिप्पट असतो.

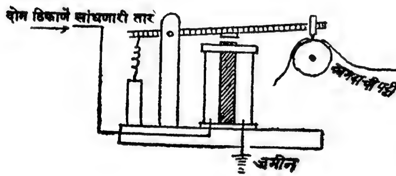
दोन ठिकाणांमधील अंतर जेव्हां फार असतें तेव्हां तारेच्या लांबीमुळें



आकृति १७४

विद्युत्प्रवाहास फार विरोध होतो. या विरोधामुळें तो इतका क्षीण होतो कीं, त्यामुळें निनादक (sounder) कार्य करूं शकत नाहीं. याकरतां अशा वेळीं निनादकाचे जवळ '**साहाय्यक विद्युच्चुंबक** (relay) मंडलांत घालतात. यांतून प्रवाह वाहूं लागला म्हणजे याचे पुढे असलेली नरम लोखंडी पट्टी ओढली जाते व त्यामुळें त्या ठिकाणीं ठेवलेली दुसरी विद्युद्‌घटमाला मंडलांत येते व तिचेपासून उत्पन्न होणारा प्रवाह प्रबळ असल्यानें निनादकाचें काम चांगलें होतें.

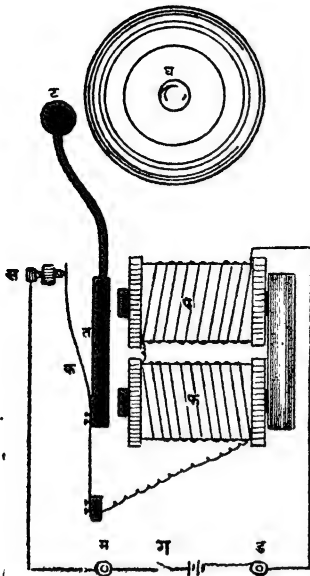
या पद्धतींत तार घेणाऱ्या माणसास 'कड,' 'कट्ट' असे आवाज ऐकून त्याप्रमाणें तार लिहून घ्यावी लागते, पण जेव्हां तारा फार लवकर लवकर लिहून घ्यावयाच्या असतात तेव्हां 'ड' या पट्टीच्या (आकृति १७३) टोंकास एक पेन्सिल लावतात. या पेन्सिलीचें टोंक आर्मेचर खालीं ओढला गेला म्हणजे कागदास टेकावें अशी योजना केलेली असते. कागद समगतीनें पेन्सिलीखालून फिरावा म्हणून यांत्रिक योजना केलेली असते. ज्या मानानें प्रवाह कमी जास्त वेळ तारेंतून वाहातो त्या मानानें कागदावर टिंबें किंवा रेषा आपोआप काढल्या जातात व म्हणून या यंत्रास **दूर लेखक** (Telegraph) असें म्हणतात.



आकृति २७५

(२) **विद्युद्‌घंटाः**—विद्युद्‌घंटा ही विद्युच्चुंबकाचें कार्य दाखविणारें नित्योपयोगी साधन आहे. या घंटेची रचना आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें असते. 'ग' ही गुंडी दाबतांच विद्युन्मंडल पूर्ण होतें व विद्युत्प्रवाह विद्युद्‌घटांतून 'म' या स्क्रूमध्यें येतो, तेथून 'स' या स्क्रूमधून, 'क' या कमानींतून, 'प' आणि 'फ' या उलट सुलट गुंडाळलेल्या रीलावरून जाऊन 'ड' मध्यें येतो व तेथून विद्युद्‌घटांत परत जातो. रीलावरील तारेंतून प्रवाह वाहूं लागला म्हणजे 'पफ' हा विद्युच्चुंबक 'त' या नरम लोखंडी पट्टीस ओढतो व त्यामुळें 'ट'

ही गोळी ‘ घ ’ या घंटेवर आपटते. याच वेळीं ‘ स ’ या स्क्रूचा ‘ क ’ या कमानीशीं असलेला संबंध सुटतो, व ‘ पफ ’ या विद्युच्चुंबकांतून प्रवाह वाहीनासा होतो त्यामुळें ‘ त ’ वरील आकर्षण नाहीसें होते व ती ‘ क ’ या कमानीमुळें मागें जाते. ‘ क ’ कमान स्क्रूस पुन: टेकते व विद्युन्मंडल पूर्ण होतें. विद्युन्मंडल पूर्ण झाल्या-बरोबर पूर्वीप्रमाणेंच क्रिया होऊं लागते. याप्रमाणें विद्युन्मंडल मोडण्याचें व जोडण्याचें काम आपोआप होत असल्यानें घंटा सारखी वाजत राहते.



आकृति १७६

चलविद्युत्चे उ:णता विषयक परिणाम. (Heating effects of an electric current.)

आपण मागें असें पाहिलें आहे कीं एकंदर पदार्थांचे वर्गीकरण विद्युद्वाहक व विद्युद्रोधक याप्रमाणें करतां येतें, कोणताही पदार्थ पूर्ण वाहक किंवा पूर्ण रोधक असत नाहीं. विद्युत्प्रवाहाला त्या पदार्थांतून जाण्यास ज्या मानानें कमीजास्त अडथळा होतो त्या मानानें त्याची विरोध शक्ति (Resistance) कमी किंवा अधिक असते.

विरोध किंवा प्रतिकार शक्ति तारेच्या लांबीवर अवलबूंन असते.

प्रयोग १८०—विद्युत्प्रवाहमापक (Galvanometer) यंत्रांतील

तारेचें एक टोंक ५ मीटर लांबीच्या तारेनें विद्युद्‌घटाच्या एका ध्रुवास जोडा व दुसरें टोक लहान तारेच्या तुकड्यानें विद्युद्‌घटाच्या दुसऱ्या धृवास सांधा. प्रवाह मापक यंत्रांतील चुंबकीय सुईचे विचलन किती होते तें पाहा. ५ मीटर लांबीच्या तारेऐवजीं तेवढ्याच जाडीची व त्याच पदार्थाची १० मीटर लांबीची तार उपयोगांत आणा व सुईचें विचलन पाहा. यावेळीं ते पूर्वीपेक्षां कमी झालें आहे असें आढळून येईल.

या वरून पदार्थाची प्रतिकारशक्ति किंवा विरोधशक्ति तारेच्या लांबीवर अवलंबून असते, म्हणजे जितकी लांबी अधिक तितकी प्रतिकारशक्तिहि अधिक असते हें सिद्ध होतें.

विरोध किंवा प्रतिकारशक्ति तारेच्या जाडीवर अवलंबून असते.

प्रयोग १८१—मागील प्रयोगाप्रमाणेंच प्रयोगाची मांडणी करा. विद्युद्‌घट व प्रवाहमापक ५ मीटर लांबीच्या जर्मन सिल्व्हरच्या तारेनें जोडा व सुईचें विचलन पाहा. या तारेच्याऐवजीं आतां तेवढयाच लांबीची व त्याच पदार्थाची पण तिचेपेक्षां अधिक जाडीची तार वापरा व पुन: सुईचें विचलन पाहा. तें पूर्वीपेक्षां जास्त झालें आहे असें आढळेल.

यावरून तारेची विरोध किंवा प्रतिकारशक्ति तारेच्या जाडीवर अवलंबून असते, म्हणजे तारेची जाडी जितकी जास्त असते तितकी तिची प्रतिकार शक्ति कमी असते हें सिद्ध होतें.

(३) विरोध किंवा प्रतिकार शक्ति पदार्थावर अवलंबून असते.

प्रयोग १८२—वरील प्रयोगाप्रमाणेंच प्रयोगाची मांडणी करा. विद्युद्‌घट व विद्युत्प्रवाह मापक १० मीटर लांबीच्या जर्मनसिल्व्हरच्या तारेनें जोडा व सुईचें विचलन पाहा. जर्मनसिल्व्हरच्या ऐवजीं तेवढ्याच जाडीच्या तांब्याच्या व चांदीच्या तारांचे तुकडे उपयोगांत आणा व प्रत्येक वेळीं सुईचें विचलन पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं

चांदीची तार वापरली असतां होणारें विचलन > तांब्यांची तार वापरली असत होणारें विचलन > जर्मन सिल्व्हरची तार वापरली असतां होणारें विचलन.

याप्रमाणें असतें. म्हणजे चांदी, तांबें व जर्मनसिल्व्हर यांच्या विरोधशक्ति

चांदीची विरोध किंवा प्रतिकार शक्ति < तांब्याची विरोध शक्ति < जर्मनसिल्व्हरची विरोध शक्ति

याप्रमाणें असतात.

यावरून विरोध शक्ति पदार्थावर अवलंबून असते हें सिद्ध होते.

प्रयोग १८३–दोन विद्युद्घट एकमेकांस जोडा, व पहिल्याचा मोकळा असलेला धनध्रुव दुसऱ्याच्या मोकळ्या असलेल्या ऋणध्रुवाशीं प्लटिनमच्या अगदीं बारीक व लहान अशा तारेच्या तुकड्यानें जोडा ती तार तापून चमकते का पाहा. ती तार तापून प्रकाशदायी होते असें दिसेल. प्लॅटिनमच्या तारेऐवजीं तांब्याची तेवढीच बारीक व तेवढीच लांब तार वापरा. व विद्युत्प्रवाहाचा तिचेवर काय परिणाम होतो तो पहा. ती फक्त थोडी ऊन होते असें दिसेल.

प्रयोग १८४—प्लॅटिनमची एक जाड व एक बारीक याप्रमाणें सारख्याच लांबीच्या तारा घेऊन पेन्सिलीवर गुंडाळून त्यांचीं वेटोळीं (spirals) तयार करा. वेटोळयांतील तारा एकमेकांस चिकटून ठेवूं नका. एका तांब्याच्या उष्णतामापक पात्रांत १०० ग्रॅम पाणी घेऊन त्याचें उष्णमान पाहा. उष्णतामापकास स्पर्श करणार नाहीं अशा रीतीनें त्यांतील पाण्यांत बारीक तारेचे वेटोळे लोंबत ठेवा. वेटोळयाचीं टोकें विद्युन्मालेच्या ध्रुवास जोडा व १० मिनिटेंपर्यंत विद्युत्प्रवाह तारेंतून जाऊं द्या व नंतर उष्णतामापकांतील पाण्याचें उष्णमान पाहा. हाच प्रयोग जाड तारेचें वेटोळें घेऊन करा. उष्णतामापकांतील पाण्याचें उष्णमान बारीक तारेच्या वेटोळयामुळें जितकें वाढतें त्यापेक्षां तें जाड तारेच्या वेटोळयामुळें कमी वाढतें असें दिसेल.

यावरून असें दिसून येईल कीं विद्युत्प्रवाहाचें उष्णता उत्पन्न करण्याचें प्रमाण विद्युन्मंडळाच्या प्रतिकारशक्तीवर अवलंबून असतें.

जूलनें (Joule) अनेक प्रयोगांअंतीं याविषयीं **पुढील नियम ठरविले आहेत.**

विद्युन्मडलांत विद्युत्प्रवाहामुळें उत्पन्न होणाऱ्या उष्णतेचें प्रमाण

(१) त्यांतून वाहणाऱ्या प्रवाहाच्या वर्गावर, (square)

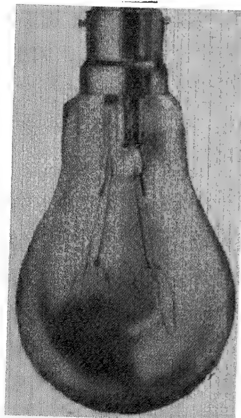
(२) त्याच्या प्रतिकार शक्तीवर

(३) प्रवाह वाहण्याच्या वेळेवर अवलंबून असतें

अथवा उत्पन्न होणारी उष्णता = (प्रवाह)^{2} $\times$ विरोध $\times$ वेळ.

विद्युतप्रवाहाच्या उष्णता विषयक परिणामांचे व्यावहारिक उपयोग.

(१) विद्युद्दीपः—या दिव्यांत टंग्स्टन धातूची तार विद्युत्प्रवाहामुळें शुभ्रोष्ण केलेली असते. तार हवेंत असतां तिचें उष्णमान इतकें वाढविलें तर ती जळेल म्हणून ज्या कांचेच्या फुग्यांत ती बसवितात त्यांतील हवा शक्यतितकी काढून टाकलेली असते. हा कांचेचा फुगा एका पितळी कडींत बसविलेला असतो. प्रवाह आंत नेणारी व बाहेर आणणारी तार कडीच्या बुडांत तिला स्पर्श करणार नाहीं अशा रीतीनें बसविलेली असते.


आकृति १७७

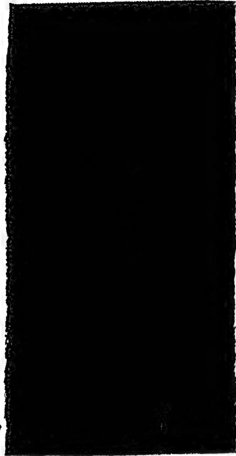
या कांचेच्या फुग्यांत बसविलेल्या तारांचा प्रसरण गुणक कांचेच्या प्रसरण गुणकाइतका असतो. त्यामुळें त्या गोळ्यांत केव्हांहि हवा शिरूं शकत नाहीं.

अत्युच्च उष्णमानावर टंगस्टनची वाफ होऊं लागते व कांचेच्या फुग्याचे आंतील भागावर काळया रंगाचा थर जमतो. टंग्स्टनच्या वाफेमुळें दिवे काळे होऊं नयेत व दिव्याचें प्रकाशदायित्व वाढावे म्हणून अलीकडे कांचेच्या फुग्यांतील हवा काढून तिचे ऐवजीं आर्गन (Argon) नांवाचा वायु त्यांत भरतात. यामुळें टंग्स्टनचें उष्णमान २४००$^{\circ}$ सें. पर्यंत वाढविलें तरी त्याचें वायुरूपांत रूपांतर होत नाही व त्यांत (वायूंत) उत्पन्न होणाऱ्या प्रापण प्रवाहामुळें जें कांहीं टंग्स्टन वायुरूप होतें तें दिव्याच्या वरच्याबाजूस जमते व खालचा भाग स्वच्छ राहतो.

अलीकडे विद्युद्दीपांचा प्रचार इतका वाढला आहे कीं एकेकटी कंपनी दर मिनिटांस सुमारें तीनतीन हजार दिवे तयार करते.

विद्युच्चाप (आर्कलाईट) (Electric arc.)

दोन कार्बनच्या कांड्या प्रबल विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करणाऱ्या यंत्राच्या मंडलांत एकमेकांस चिकटवून ठेवल्या तर त्या जेथें एकमेकांस चिकटलेल्या असतात त्या ठिकाणीं त्या तापून लाल होतात व अशा स्थितींत त्या असतां त्यांचे मधील अंतर १/४ इंचापर्यंत हळूहळू वाढविलें तरी त्यांतून विद्युत्-प्रवाह चालू राहातो, कारण या कांड्याच्या-मधील जागेंत आता कार्बनची वाफ (Vapour) असते. ही वाफ तापून प्रकाशदायी होते. या तापलेल्या वाफेच्या थराला **विद्युच्चाप** (Electric are) म्हणतात. धनध्रुवाकडील कार्बनच्या कांडींत हळूहळू खळगा तयार होतो व ऋणध्रुवाकडील कार्बनवर उंचवटा तयार होतो. प्रकाश मुख्यत: धनध्रुवाकडील कार्बनमध्यें असलेल्या खळग्यांतून येतो. याचें उष्णमान ३७००°सें. असते. हेंच आजवरील मानव निर्मित महत्तम उष्णमान आहे. या उष्ण मानावर आपणास माहीत असलेले सर्व पदार्थ वायुरूप स्थितींत जातात. या दिव्यांत विद्युत्प्रवाहाला होणाऱ्या विरोधामुळें इतकी उष्णता उत्पन्न होते कीं तीमुळें वायुरूप स्थितींतील कार्बन प्रकाशदायी होतो.



आकृति १७८

(Electric fuses) प्रबल प्रवाहामुळें नाजूक यंत्रें खराब होतात. तीं खराब होऊं नयेत म्हणून विद्युन्मडलांत शिसें किंवा कथील ह्यासारख्या लवकर वितळणाऱ्या धातूच्या बारीक तारेचा लहानसा तुकडा ठेवतात. अशा

तुकड्यांतून प्रबल प्रवाह जातांच तार वितळते व मंडल तुटते; यामुळें मंडळांत असणाऱ्या नाजूक यंत्रांतून प्रवाह जाऊं शकत नाहीं व तीं यंत्रें खराब होत नाहींत.

Electric cautery:—प्लॅटिनमची बारीक तार विद्युत्प्रवाहानें तापवून तिच्या साहाय्यानें शरिरांतील फाजील वाढ जाळून टाकतात.

चुंबकीय क्षेत्रांत ठेवलेल्या प्रवाहवाही तारेची गति.

प्रयोग १८५—सुमारे १२″ लांब व १॥ व्यास असलेल्या कांचेची नळी घेऊन तिच्या दोन्ही टोकांस घट्ट बसतील अशीं बुचें बसवा. विद्युच्चुंबकाच्या मधील नरम लोखंडी तुकड्याचें टोंक खालच्या बुचाच्या मध्यभागीं व त्यांतून किंचित वर येईल असें बसवा. वरच्या बुचांत हूक (आकडा) असलेली जाड ताब्याची तार बसवा. खालच्या बुचांत बसविलेल्या नरम लोखंडी तुकड्या भोंवती असलेल्या पाऱ्यांत बुडेल अशी दुसरी बारीक तार या आंकड्यास टांगा. विद्युद्घटाचें एक टोंक पाऱ्यास व दुसरें वरच्या बुचांत बसविलेल्या तारेच्या टोंकास तारांनी जोडा. विद्युच्चुंबक जागृत करण्याकरतां दुसरा विद्युद्घट उपयोगांत आणा व वरच्या टोंकाकडे उत्तरध्रुव निर्माण होईल अशा रीतीनें विद्युच्चुंबकांतून प्रवाह वाहूं द्या. तार कशी फिरते तें पहा. तारेंतून जाणाऱ्या प्रवाहाची दिशा बदला. तार पूर्वींच्याच दिशेनें फिरते का पाहा. विद्युच्चुंबकाचा नळींतील ध्रुव बदला. म्हणजे त्यांतून वाहणाऱ्या प्रवाहाची दिशा बदला. तारेंतून प्रवाह वरून खाली येत असतां व तसेंच तो खालून वर जात असतां तार कोणच्या दिशेनें फिरते तें पाहा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

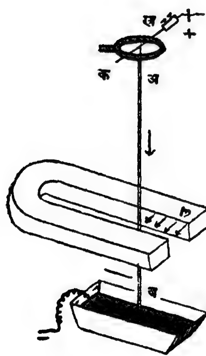
उ

आकृति १७९

विद्युच्चुंबकाचा नळींतील ध्रुव	तारेंतून वाहणाऱ्या प्रवाहाची दिशा	तार कशी फिरते
उत्तर	वरून खाली	घड्याळाच्या काट्यांसारखी
उत्तर	खालून वर	घड्याळाच्या काट्याविरुद्ध
दक्षिण	वरून खालीं	घड्याळाच्या कांट्याविरुद्ध
दक्षिण	खालून वर	घड्याळाच्या काट्यासारखी

हाच प्रयोग विद्युच्‌ चुंबकाऐवजीं साधी चुंबक पट्टी घेऊन करा. निरीक्षणें वर दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

फ्लेमिंगचा डाव्या हातचा नियमः—वरील निरीक्षणावरून असें दिसून येईल कीं, जर ' डाव्या हातचा अंगठा, (आणि) तर्जनी पूर्ण ताणून मधलें बोट तळहाताशीं काटकोन करील असें वांकविलें आणि तर्जनी चुंबकक्षेत्राची दिशा, व मधलें बोट प्रवाहाची दिशा या प्रमाणें दिशा दाखवितील तर अंगठा तारेची फिरण्याची दिशा दाखवील. "



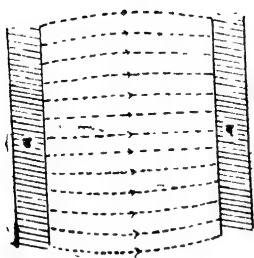
आकृति १८०

प्रयोग १८६—'क ख' या आडव्या तारेस 'अ ब' उभी ही तार पक्की बसवा. ' क ख ' ही तार आधारावर अशा रीतीनें ठेवा की ' अ ब ' ही तार ' क ख ' या तारेभोंवती फिरूं शकेल. ' अ ब ' या तारेचें खालचें टोंक पाऱ्याच्या भांड्यांत लोंबत ठेवा. तारेजवळ आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें नालाकार चुंबक ठेऊन तारेंतून प्रबल प्रवाह वरून खालीं जाऊ द्या. 'अब' ही तार कोणीकडे ढकलली जाते तें पाहा. ती बाणानें दाखविलेल्या दिशेकडे म्हणजे चुंबकाच्या वक्र भागाकडे ढकलली जाते असें दिसेल. प्रवाहाची

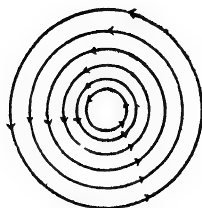
दिशा बदला. आतां ती कोणत्या दिशेनें ढकलली जाते तें पाहा. ती आतां पूर्वीच्या विरुध्द दिशेकडे सरकते असें दिसेल.

यावरून असें सिद्ध होतें कीं, ज्या तारेंतून प्रवाह वाहतो ती तार चुंबकीय क्षेत्रांत ठेवली तर ती चुंबकीय क्षेत्राशीं व प्रवाहाच्या दिशेशीं काटकोन करणाऱ्या दिशेकडे ढकलली जाते.

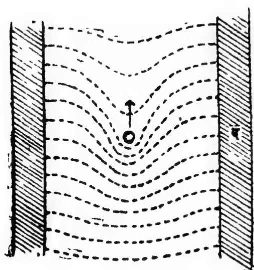
तार पुढें किंवा मागें सरकेल हें पुढें सांगितल्याप्रमाणें ठरवितां येतें. (आ.१८१) फक्त चुंबकाचें व (आ. १८२) फक्त प्रवाहाचें क्षेत्र दाखवीत असेल तर (आ. १८३) चुम्बक व प्रवाह यांचें संयुक्त क्षेत्र दर्शवील.



आकृति १८१



आकृति १८२



आकृति १८३

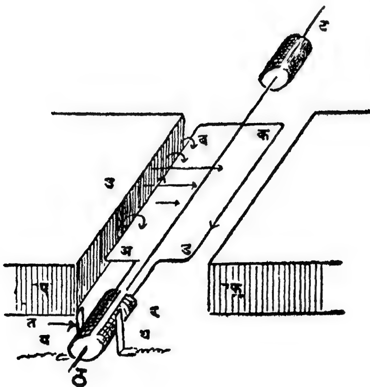
चुंबकीय रेषा म्हणजे ताणलेल्या रबरीपट्ट्या आहेत अशी फॅरॅडेप्रमाणें कल्पना केल्यास त्यांची प्रवृत्ति सरळ होण्याची राहील व त्यामुळें तार वर ढकलली जाईल. अथवा **ज्या बाजूला चुंबकाचें व प्रवाह वाहून नेणाऱ्या तारेचें चुंबकीय क्षेत्र एकाच प्रकारचें असेल त्या बाजूकडून ज्या बाजूला तीं क्षेत्रें विरुद्ध प्रकारचीं असतात त्या बाजूकडे प्रवाहवाही तार ढकलली जाईल.**

या तत्त्वावर **विद्युच्चलनी** (Electric Motor) ची रचना अवलंबून असल्यानें यालाच **विद्युच्चलनीचे तत्त्व** (Principle of the electric motor) म्हणतात.

हें तत्त्व क्षितिज समांतर आसाभोंवतीं फिरणाऱ्या प्रवाहवाही तारेच्या चौकोनाकृति कडीस लागू करतां येते. ज्या बाजूला प्रवाहामुळें उत्पन्न होणारें चुंबकीय क्षेत्र व मूळच्या चुंबकाचें क्षेत्र एकाच प्रकारचें असते म्हणजे दोन्ही क्षेत्रांतील बलरेषांची धन दिशा एकच असते त्या बाजूकडून ज्या बाजूला तीं क्षेत्रें विरुद्ध प्रकारचीं असतात अथवा दोन्ही क्षेत्रांतील बलरेषांची धन दिशा विरुद्ध असते त्या बाजूकडे प्रवाहवाही तार ढकलली जाते.

विद्युच्चलनी Electric motor

'प' आणि 'फ' हे प्रबल चुंबक त्यांचे विरुद्ध ध्रुव बाजूचे आकृतींत दाखविल्या प्रमाणें एकमेकांसमोर करून ठेवलेले आहेत. 'ट ठ' या क्षितिज समांतर आंसा भोंवतीं फिरणारी 'अ ब क ड' ही तारेची चौकोनी कडी आहे 'ट ठ' या आंसावर घट्ट बसविलेल्या रोधक आधारावर पितळी नळीचे अर्धगोलाकृति 'य' आणि 'र' हे भाग एकमेकांस लागणार नाहींत अशा रीतीनें बसविलेले आहेत. 'य' आणि 'र' या नळीच्या भागास 'अबकड' या कडीची टोंकें सांधलेलीं आहेत. 'त' आणि 'थ' या कमानीं अनुक्रमे 'य' आणि 'र' वर सारख्या घासतील अशा रीतीनें पक्क्या बसविलेल्या असून त्या विद्युद्घटास जोडलेल्या आहेत. प्रवाह बाणांनीं दाखविलेल्या दिशेनें जात असून सुरवातीस कडी क्षितिज समांन्तर पातळींत आहे.



आकृति १८४

आतां ' अ ब ' मधून वाहणाऱ्या प्रवाहामुळें उत्पन्न होणारें व मूळच्या चुंबकाचें क्षेत्र ' अ ब ' चे वरचे बाजूस एकाच प्रकारचें व खालचे बाजूस विरुद्ध प्रकारचें आहे म्हणून तार खाली ढकलली जाते. ' क ड ' मधून वाहणाऱ्या प्रवाहाची दिशा ' अ ब ' मधून वाहणाऱ्या प्रवाहाच्या दिशेच्या विरुद्ध असल्यानें ती तार वर ढकलली जाते व हें कार्य कडी उभ्या पातळींत येई तों चालू राहातें. चौकोनी कडी उभ्या पातळींत आली म्हणजे प्रवाहाची दिशा बदलते, कारण त्यावेळीं 'क ड' या तारेचा संबंध ' थ ' कमानी पासून तुटतो व ' त ' कमानीशीं जोडला जातो व त्यामुळें ' कड ' खालीं व ' अब ' वर याप्रमाणें कडीच्या तारा ढकलल्या जातात व कडी सारखी फिरत राहते.

कडीला फिरविणारी चालक शक्ति कडी ज्यावेळीं क्षितिज समांतर पातळींत असते त्यावेळीं महत्तम असते व ज्यावेळीं ती उभ्या पातळींत असते त्यावेळीं लघुतम अथवा शून्य असते. दर अर्ध प्रदक्षिणेस असा फरक होत असल्यानें एकच कडी असल्यास चालकशक्ति (Motive power) जोरदार व सारखी मिळत नाही. चालकशक्ति जोरदार व सारखीं मिळावी म्हणून व्यवहारांत एकाच आसांभोवतीं एकमेकांपासून समान अन्तरावर पुष्कळ वेटोळी गुंडाळतात. त्यामुळें चालक शक्तींत फरक होत नाही. बारीक बारीक पत्रे एकमेकांस चिकटवून केलेल्या गोल लोखंडी ढोलावर हीं वेटोळीं गुंडाळतात. ढोलामुळें वेटोळयास आधार मिळतो व चुंबकीय क्षेत्रांची शक्तिहि वाढते.

प्रश्नसंग्रह १९ वा.

(१) विद्युद्वाहक द्रव, धन विद्युन्मार्ग (Anode) आणि आयन म्हणजे काय हें उदाहरणें देऊन सांगा.

(२) विद्युद्विश्लेषण म्हणजे काय ? विद्युद्विश्लेषणाविषयीं फॅरडेनें कोणचे नियम सिद्ध केले आहेत ? एका भांडयास चांदीचा मुलामा द्यावयाचा असल्यास विद्युद्वाहक द्रव कोणचा वापराल व उपकरणांची मांडणी कशी कराल ते सांगा.

(३) विद्युद्विरोधक शक्ति कोणच्या गोष्टींवर अवलंबून असते.

(४) विद्युत्प्रवाहामुळें उत्पन्न होणाऱ्या उष्णतेचें प्रमाण कोणत्या गोष्टींवर अवलंबून असतें ?

(५) विद्युद्दीपाचे थोडक्यांत वर्णन करा. त्यांत अलीकडे टग्स्टनची तार कां वापरतात.वायुपूरित फुगे वापरण्यांत विशेष काय फायदा आहे ?

(६) विद्युच्चापाविषयीं थोडक्यांत माहिती लिहा. विद्युत्च्या उष्णता विषयक परिणामाचे कांहीं व्यावहारिक उपयोग सांगा.

(७) तारेंतून विद्युत्प्रवाह वाहात असतां त्याचे भोंवती चुंबक क्षेत्र निर्माण होते हें कसें सिद्ध कराल ? प्रयोग लिहा.

(८) तारेंतून वाहणाऱ्या प्रवाहाची दिशा ठरविण्याकरितां कोणचे प्रयोग कराल?

(९) प्रवाहवाही रोधित तारेची गुंडाळी (Helix) व पट्टीचा चुंबक यांत साम्य आहे हे कसें सिद्ध कराल ?

(१०) प्रवाहवाही तारेच्या गुंडाळीत नरम लोखंडाचा एक तुकडा ठेवला असतां गुंडाळींची शक्ति पुष्कळच वाढतें यांचे कारण काय ?

(११) विद्युद्घटेचें वर्णन करा व तिचे कार्य नीट समजावून सांगा. ?

(१२) चुंबक क्षेत्रांत लोंबत असलेली प्रवाहवाही तार कोणच्या दिशेनें सरकेल हें कसें ठरवाल ?

(१३) विद्युच्चलनी (Electric Motor) ची रचना कोणच्या तत्वा वर केलेली आहे ?

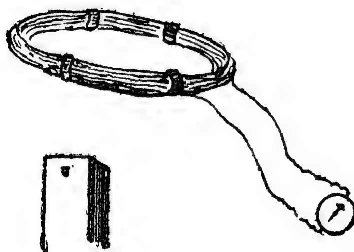
(१४) तारायंत्रांत साहाय्यक चुंबकाची काय आवश्यकता आहे ?

प्रकरण २० वें.

प्रवर्तित प्रवाह Induced currents:--

ज्या तारेंतून प्रवाह वाहतो त्या तारेभोंवतीं चुंबकीय क्षेत्र निर्माण होतें, म्हणून याचा व्यत्यास म्हणजे-पूर्ण मंडलाभोंवतीं चुंबकीय क्षेत्र निर्माण केलें तर त्यांत (त्या मंडलांत) विद्युत् प्रवाह उत्पन्न होत असला पाहिजे–हाहि खरा असेल, असें अनुमान करण्यास हरकत नाहीं. फॅरॅडेला या दिशेनें प्रयोग करीत असतां इ. स. १८३१ मध्यें असें आढळून आलें कीं, पूर्ण मंडलाभोंवतीं उत्पन्न केलेल्या चुंबकीय क्षेत्रांत बदल होत असेल तरच मंडलांत प्रवाह उत्पन्न होतो पण तें जर स्थिर असेल तर प्रवाह उत्पन्न होत नाहीं. त्यानें असें सिद्ध केलें कीं, पूर्ण मंडलाचे जवळ चुंबक आणीत असतांनाच अथवा त्यापासून तो दूर नेत असतांनाच फक्त, मंडलांत प्रवाह उत्पन्न होतो पण चुंबक स्थिर असेल तर मंडलांत प्रवाह उत्पन्न होत नाहीं.

प्रयोग १८७—रोधित (insulated) तांब्याच्या तारेची, २ इंच व्यासाची ५०।७५ वेटोळीं असलेली गुंडाळी तयार करा. गुंडाळींतील तारा हालूं नयेत म्हणून त्या एकत्र बांधा. या तारेचीं टोंकें अत्यंत नाजूक अशा विद्युत्प्रवाहमापकास जोडा. उभ्या धरलेल्या प्रबल चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाजवळ ही गुंडाळी एकदम आणा, कांहीं वेळ स्थिर राहूं द्या, व नंतर एकदम दूर न्या. प्रवाह मापकांतील सुईवर काय परिणाम होतो तो नीट पाहा. गुंडाळी चुंबकाचे



आकृति १८५

जवळ येत असतां प्रवाह मापकांतील सुई विचलन पावते, गुंडाळी स्थिर होतांच ती पूर्व ठिकाणीं येतें व गुंडाळी दूर जात असतां ती विरुद्ध दिशेकडे विचलित होते असें दिसेल.

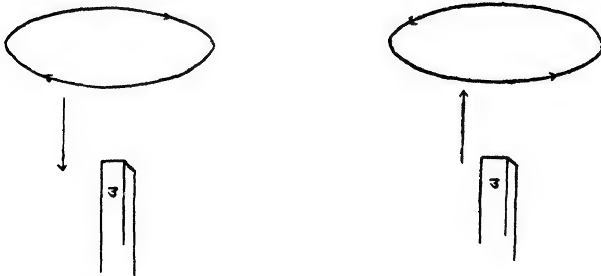
प्रयोग १८८—मागील प्रयोगांत सांगितलेली व प्रवाह मापकाशीं जोडलेली गुंडाळी प्रवाह मापकापासून कांहीं अंतरावर ठेवा. (प्रबल चुंबकाचा प्रवाह मापकावर परिणाम होणार नाही इतक्या.) प्रबल चुंबकाचा उत्तरध्रुव गुंडाळीजवळ एकदम आणा, गुंडाळीपासून कांहीं अंतरावर स्थिर होऊं द्या, व नंतर एकदम दूर न्या. प्रवाह मापकांतील सुईवर काय परिणाम होतो तो पाहा. चुंबक गुंडाळीजवळ येत असतां सुई विचलित होते, तो स्थिर असतां सुई पूर्व ठिकाणीं येते व तो दूर जात असतां ती विरुद्ध दिशेनें विचलित होते असें दिसेल.

वरील प्रयोगांवरून असें सिद्ध होतें कीं, गुंडाळी व चुंबक यांचेमधील अंतर कमी किंवा जास्त होत असतां गुंडाळींत विद्युत्प्रवाह प्रवर्तित होतो, पण त्यांचे मधील अंतर कायम (स्थिर) असेल तर गुंडाळींत विद्युत्प्रवाह उत्पन्न होत नाहीं.

प्रवर्तित विद्युप्रवाहाची दिशा ठरविणें

प्रवाह मापकांत कोणच्या टोंकाकडून प्रवाह गेला असतां त्यांतील सुई (दर्शक) उजवीकडे वळते हें विद्युद्घटाच्या साहाय्यानें ठरवा, म्हणजे प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा ठरवितां येईल.

प्रयोग १८९:—प्रबल चुंबकाचा उत्तरध्रुव वरचे बाजूस करून त्यास



आकृति १८६ आकृति १८७

लांकडी पकडींत धरा. प्रयोग १८९ मध्यें सांगितलेली व प्रवाह मापकाशीं जोडलेली गुंडाळी एकदम त्यावर आणा व प्रवाह मापकांतील सुई

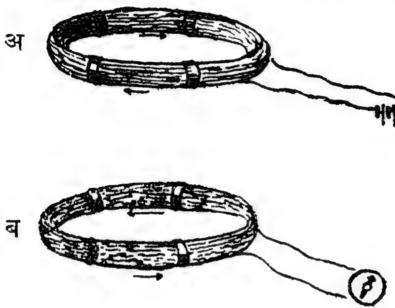
उजवीकडे किंवा डावीकडे वळते तें पाहा. गुंडाळी एकदम त्याचे पासून दूर न्या व सुईचें विचलन कोणच्या दिशेनें होते तें पाहा. चुंबकाचा दक्षिण ध्रुव वर करून पुनः हाच प्रयोग करा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

गुंडाळीची स्थिती.	सुईचें विचलन.	गुंडाळीचे चुंबकाकडील भागावर उत्पन्न होणारी चुंबकीय ध्रुवशक्ति.
गुंडाळी उत्तर ध्रुवाजवळ येत असतां	उजवीकडे	उत्तर दर्शी
गुंडाळी उत्तर ध्रुवापासून दूर जात असतां	डावीकडे	दक्षिण दर्शी
गुंडाळी दक्षिण ध्रुवाजवळ येत असतां	डावीकडे	दक्षिण दर्शी
गुंडाळी दक्षिण ध्रुवापासून दूर जात असतां	उजवीकडे	उत्तर दर्शी.

वरील निरीक्षणांवरून असें दिसेल कीं. उत्तर ध्रुवाचेजवळ गुंडाळी येत असतां तिच्या चुंबकाच्या उत्तर ध्रुवाकडील भागावर प्रवर्तित प्रवाहामुळें उत्तर दर्शीध्रुव उत्पन्न होतो व ते ध्रुव एकमेकांस प्रतिसारीत असल्यानें गुंडाळीस उत्तर ध्रुवाजवळ येण्यास अडथळा होतो. तसेंच गुंडाळी लांब नेत असतां तिचे खालचे भागावर दक्षिण दर्शीध्रुव उत्पन्न होतो व हा दक्षिण ध्रुव आणि चुंबकाचा उत्तर ध्रुव हे एकमेकास आकर्षित असल्यानें गुंडाळीस त्याचे (उत्तर ध्रुवा) पासून लांब जाण्यास अडथळा होतो. याच प्रमाणें चुंबकाच्या दक्षिण ध्रुवाजवळ गुंडाळी येत असतां तिचे खालचे भागांत दक्षिण दर्शीध्रुव उत्पन्न होतो व हे एकमेकांस प्रतिसारीत असल्यामुळें तिला चुंबकाचे जवळ येताना विरोध होतो व चुंबकाच्या दक्षिण ध्रुवापासून गुडाळी दूर जात असतां प्रवर्तित प्रवाहामुळें तिच्या चुंबकाकडील भागात उत्तर दर्शीध्रुव उत्पन्न होतो व या विजातीय ध्रुवांतील आकर्षणामुळें गुंडाळीस चुंबकापासून दूर जाण्यास विरोध

होतो. अथवा चुंबक व गुंडाळी यांचे सापेक्ष स्थितींत बदल होत असतां उत्पन्न होणाऱ्या प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा अशी असते कीं, या प्रवाहामुळें उत्पन्न होणारें चुंबकीय क्षेत्र गुंडाळीच्या गतीस नेहमीं विरोध करतें. तारेच्या गुंडाळींतून (Spiral) प्रवाह वाहात असतां तिचें वर्तन पट्टीच्या चुंबकाप्रमाणें असतें ही गोष्ट आपण मागें पाहिलीच आहे. म्हणून मागील प्रयोग चुंबकाचे ऐवजीं प्रवाहवाही गुंडाळी घेऊन देखील करतां आला पाहिजे.

प्रयोग १९०–‘ अ ’ गुंडाळीचीं टोंकें विद्युन्मालेस जोडा व ‘ ब ’ गुंडाळीचीं टोकें प्रवाह मापकास जोडा. ‘ अ ’ गुंडाळीस ‘ **मुख्य मंडल** ’ (primary circuit) व ‘ ब ’ या गुंडाळीस ‘ **उपमंडळ** ’ (secondary circuit) असें म्हणतात. बाणांनीं दाखविलेल्या दिशेनें ‘ अ ’ मधून विद्युत्प्रवाह वाहूं द्या. ‘ अ ’ गुंडाळी ‘ब’ वर धरून एकदम खालीं आणा. प्रवाह मापकांतील सुईचें विचलन होतें का पाहा. सुईचें क्षणिक विचलन होतें व ‘ ब ’ मध्यें क्षणिक प्रवाह उत्पन्न होतो असें दिसेल. सुईचे विचलनावरून प्रवाहाची दिशा ठरवा. यावेळीं ‘ ब ’ मधून वाहणारा प्रवर्तित प्रवाह ‘ अ ’ मधील प्रवाहाच्या विरुद्ध दिशेनें वाहतो असें दिसेल. ‘ अ ’ गुंडाळी ‘ ब ’ गुंडाळीपासून एकदम दूर न्या व ‘ ब ’ मधून वाहणाऱ्या प्रवाहाची दिशा ठरवा. यावेळीं ती दिशा व ‘ अ ’ मधील प्रवाहाची दिशा एकच आहे असें दिसेल.



आकृति १८८

प्रयोग १९१—‘ अ ’ गुंडाळींचें विद्युद्घटास जोडलेलें एक टोंक मोकळें करून ती ‘ ब ’ वर ठेवा. ‘ अ ’ चें मोकळें केलेलें टोंक विद्युद्घटांस जोडून विद्युन्मंडल पूर्ण करा. ‘ ब ’ गुंडाळींत प्रवाह उत्पन्न होतो का पाहा व उत्पन्न होत असल्यास त्याची वाहण्याची दिशा ठरवा. विद्यु-

न्मंडल मोडा व पुनः याच गोष्टी पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं 'अ' चें विद्युन्मंडल पूर्ण होतांच 'ब' मध्यें क्षणिक प्रवाह उत्पन्न होतो व तो 'अ' मधील प्रवाहाच्या विरुद्ध दिशेनें वाहतो व तें मंडल भग्न होतांच 'ब' मध्यें पुनः क्षणिक प्रवाह उत्पन्न होतो व तो 'अ' मधील प्रवाहाच्या दिशेनेंच वाहतो.

प्रयोग १९२—'अ' या गुंडाळींत एक नरम लोखंडाचा तुकडा ठेवा व वरील दोन्ही प्रयोग पुनः करा. या वेळीं 'ब' या उपमंडलावर, (१) 'अ' या गुंडाळींतील प्रवाहाचा व (२) 'अ' मधील प्रवाहामुळें चुम्बक झालेल्या तिच्या आंतील लोखंडाचा परिणाम होत असल्यानें 'ब'-मध्यें अधिक प्रबल प्रवाह प्रवर्तित होतो असें दिसेल.

वरील प्रयोगांवरून आपणास दिसेल कीं या वेळीं देखील प्रवर्तित प्रवाहामुळें उत्पन्न होणारें चुंबकीय क्षेत्र गतीस विरोध करतें.

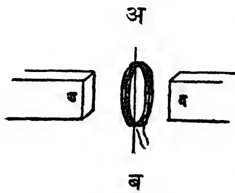
विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करण्यास शक्तीची आवश्यकता असते. उपमंडलांत विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करण्याचें कांहींच साधन नसल्यानें त्या मंडलांत प्रवाह उत्पन्न करण्यास बाहेरील शक्तीच कारणीभूत होत असली पाहिजे. मागील प्रयोगांत, ही शक्ति दोन्ही मंडलांतून वाहणाऱ्या प्रवाहामुळें उत्पन्न होणाऱ्या सजातीय ध्रुवांमधील प्रतिसारण अथवा विजातीय ध्रुवांमधील आकर्षण शक्तीचे विरुद्ध कराव्या लागणाऱ्या कामापासून उत्पन्न झाली आहे. मुख्य मंडल जवळ येत असतां उपमंडलांतील प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा अशी असते कीं उपमंडलाचे वरचे अंगास उत्पन्न होणारा चुंबकीय ध्रुव मुख्य मंडलाचे खालचे अंगास असणाऱ्या ध्रुवास प्रतिसारतो व तें दूर जात असतां उपमंडलांतून वाहणाऱ्या प्रवाहामुळें त्याचे वरचे अंगास असणाऱ्या ध्रुवास आकर्षितो. यावरून

लेंझचा नियमः—चुंबकाच्या ज्या गतीमुळें उपमंडलांत प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न झाला असेल त्या गतीस विरोध होईल अशा दिशेनें तो उपमंडलांतून वाहतो.

प्रवर्तित प्रवाह केव्हां उत्पन्न होतो ?

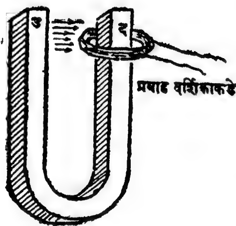
प्रयोग १९३—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें गुंडाळीची पातळी चुंबक बलरेषांशी काटकोन करून राहील अशा रीतीनें गुंडाळी दोन विरुद्ध चुंबक ध्रुवांमध्यें धरा. तिचीं टोकें सूक्ष्मभेददर्शीप्रवाह मापकास जोडा.

गुंडाळीची पातळी बलरेषांशीं काटकोन करूनच राहील अशा रीतीनें ती पुढें मागें हालवा व तिच्यांत प्रवाह उत्पन्न होतो का पाहा. ती नंतर 'अ ब' आंसा भोंवतीं गरगर फिरवा व तिच्यांत प्रवाह उत्पन्न होतो का पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं ज्या वेळीं गुंडाळी पुढें मागें हालते त्यावेळीं म्हणजे तिच्यांतून जाणाऱ्या चुंबक बलरेषांची संख्या कायम असते त्यावेळीं तिच्यांत प्रवाह उत्पन्न होत नाहीं; पण ज्या वेळीं ती गरगर फिरते त्यावेळीं, म्हणजे तिच्यांतून जाणाऱ्या चुंबक बलरेषांची संख्या ज्यावेळीं क्षणोक्षणीं बदलते त्यावेळीं तिच्यांत प्रवाह उत्पन्न होतो.



आकृति १८९

प्रयोग १९४—प्रवाह मापकाशीं सांधलेली व रोधित तारेचीं सुमारें २०० वेटोळीं असलेली गुंडाळी आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें चुंबक क्षेत्रांत ठेवा व ती चुंबक बलरेषांना समांतर अशी पुढें मागें हालवा. गुंडाळींत प्रवाह उत्पन्न होतो का पाहा. ती चुबक बल रेषांना कापील अशा रीतीनें खाली वर करा व या वेळीं प्रवाह उत्पन्न होतो का पाहा. ज्या वेळीं गुंडाळी बलरेषांना समांतर हालते त्यावेळीं प्रवाह उत्पन्न होत नसून ती ज्या वेळीं त्या रेषांना कापते त्यावेळीं तिच्यांत प्रवाह उत्पन्न होतो असें दिसेल.

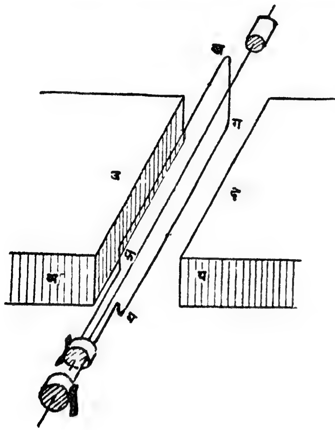


आकृति १९०

चुंबक बलरेषांना कापील अशा रीतीनें जेव्हां प्रवाहवाहक (Conductor) फिरत असतो तेव्हा त्यांतून वाहणाऱ्या प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा पुढील नियमानें ठरवितां येईल.

फ्लेमिंगचा उजव्या हाताचा नियमः—उजव्या हाताचा अंगठा व तर्जनी जितकीं ताणलीं जातील तितकीं ताणा, व मधलें बोट तळहाताशी काटकोन करील असें वांकवा. तर्जनी जर चुंबकीय बलरेषांची दिशा व अंगठा वाहकाच्या गतीची दिशा याप्रमाणें दिशा दाखवीत असतील तर मधलें बोट प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा दर्शवील.

विद्युत्प्रवाहोत्पादक (Dynamo) ‘अ’ आणि ‘ब’ हे दोन प्रबल चुंबक त्यांचे विरुद्ध ध्रुव एकमेकांकडे येतील असे ठेवा. त्यांच्यामध्यें क्षितिज समांतर आंसाभोंवतीं फिरेल अशी ‘क ख ग घ’ ही रोधित तारेची गुंडाळी ठेवा. या गुंडाळीचीं टोंकें प्रवाह दर्शकास जोडा. ही गुंडाळी घड्याळाच्या काट्यांच्या विरुद्ध दिशेनें ०°–१८०° पर्यंत फिरवा. व नंतर १८०°–३६०° फिरवा म्हणजे पूर्व स्थितींत एकदम आणा. प्रवाह दर्शकांतील सुईच्या हालचालीचें अवलोकन करा.



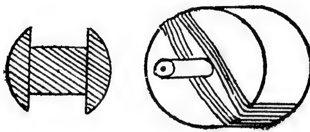
आकृति १९१

०°–१८०° पर्यंत गुंडाळी फिरत असतां प्रवाहदर्शकांतील सुई एकदम विचलित होते व १८०°–३६०° मधून ती फिरत असतां ती पूर्वीप्रमाणेंच पण विरुद्ध दिशेनें विचलित होते असें तुम्हांस दिसेल.

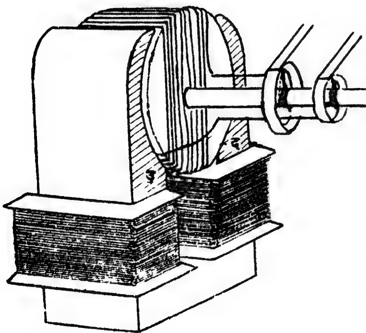
०° अंशापासून ९०° पर्यंत फिरत असतां म्हणजे उभ्या पातळींतून क्षितिज समांतर पातळींत येत असतां तिच्यामधून जाणाऱ्या चुंबकीय बलरेषांची संख्या महत्तम पासून शून्यापर्यंत कमी होते व त्यामुळें बाणांनीं दाखविलेल्या(क-ख-ग-घ-) दिशेनें प्रवाह गुंडाळींतून वाहूं लागतो. सुरवातीस बलरेषा कापण्याची गति कमी असते, पण गुंडाळी जसजशी क्षितिज समांतर पातळीच्या जवळ जवळ येते तसतशी ती वाढत जाते व त्यामुळें तिच्यांतील विद्युत्सारण शक्ति शून्यापासून महत्तम होते. ९०° ते १८०° पर्यंत जाई तों प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा तीच कायम राहते पण विद्युत् सारण शक्ति (electromotive force) मात्र महत्तम पासून शुन्यापर्यंत कमी होते. गुंडाळी त्याच दिशेनें पुढें १८०°–३६०° पर्यंत फिरविल्यास गुंडाळींतून प्रवाह विरुद्ध दिशेनें वाहूं लागतो. वि. सा. श. (E. M, F.) ती गुंडाळीं १८०°–२७०° पर्यंत फिरतांना वाढत जाते व २७०°–३६०° पर्यंत जाताना कमी कमी होते. या

प्रमाणें गुंडाळीच्या प्रत्येक अर्ध प्रदक्षिणेनंतर प्रवाहाची दिशा बदलते व म्हणून अशा प्रकारें उत्पन्न होणाऱ्या प्रवाहास **'एकांतर' किंवा सव्यापसव्य प्रवाह** (alternating current) म्हणतात. प्रवाहाची दिशा एका सेकंदांत जितके वेळां बदलते तें दाखविणाऱ्या संख्येस त्या प्रवाहाची **क्षिप्रता** (frequency) म्हणतात. वरील योजना ही (डायनॅमो) विद्युदुत्पादक यंत्राचा एक प्रकार आहे. या प्रकारास **सव्यापसव्य प्रवाहोत्पादक** (alternator) म्हणतात.

सव्यापसव्य प्रवाह उत्पन्न करणाऱ्या यंत्रांत (alternating current dynamo) रोधिततार आकृतींत दाखविलेल्या आकाराच्या नरम लोखंडी ढोलावर गुंडाळलेली असते. लोखंडी ढोल व त्यावर गुंडाळलेली तार या जोडीस (armature) म्हणतात. ज्या आंसा भोंवती हा ढोल फिरतो त्या आंसावर त्याच्याशी विद्युत् संबंध येणार नाहीं अशा रीतीनें धातूच्या दोन कड्या बसविलेल्या असतात. गुंडाळीचीं टोंकें एका कडीशीं एक व दुसरीशीं दुसरें याप्रमाणें जोडलेलीं असतात. गुंडाळींत उत्पन्न होणारा प्रवाह वाहून नेण्याकरतां या कड्यांवर सतत घांसत राहतील अशा दोन कमानी (springs) किंवा कार्बनच्या कांड्या असतात. यांना (brushes) म्हणतात.



आकृति १९२



आकृति १९३

नरम लोखंडी तुकड्यामुळें चुंबक क्षेत्र केंद्रित होतें म्हणजे तेवढयाच जागेंतून जाणाऱ्या चुंबक बलरेषांची संख्या वाढते. यामुळें गुंडाळी फिरत असतां तिच्यांतून जाणाऱ्या बलरेषांच्या संख्येंत झपाटयानें बदल होतो. म्हणून नुसती गुंडाळी फिरविली असतां

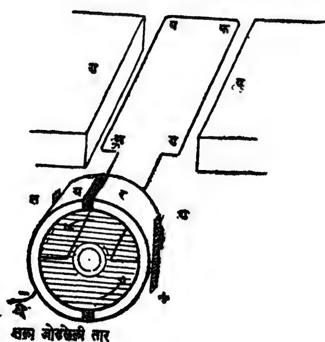
जितक्या दाबाचा विद्युत्प्रवाह मिळतो त्यापेक्षां अधिक दाब असलेला विद्युत्प्रवाह लोखंडी ढोलावर गुंडाळलेली गुंडाळी फिरविली असतां मिळतो. याशिवाय लोखंडी ढोलाचा गुंडाळीस आधारासारखा देखील उपयोग होतो.

गुंडाळी फिरत असतां तिच्या प्रत्येक फेऱ्यांतून जाणाऱ्या बल रेषांची संख्या सारख्याच प्रमाणांत बदलते म्हणून प्रत्येक फेऱ्यांत सारखीच वि. सा. श. (E. M. F.) असलेला प्रवाह उत्पन्न होतो. गुंडाळींत उत्पन्न होणाऱ्या विद्युत्प्रवाहाची विद्युत्सारण शक्ति, प्रत्येक फेऱ्यांत उत्पन्न होणाऱ्या प्रवाहांच्या वि. सा. श. ची मिळून झालेली असते. म्हणून गुंडाळींत जितके फेरे अधिक असतात तितकी तिच्यांत उत्पन्न होणाऱ्या प्रवाहाची वि. सा. श. अधिक असते.

प्रवाह (amperes) हा $\frac{\text{वि. सा. श. (volts)}}{\text{विरोध (ohms)}}$ या अपूर्णांकानें दर्शवीत असल्यानें मंडलाचा विरोध जर कायम असेल तर वि. सा. श. जितकी अधिक असते तितका मंडलांतून वाहणारा प्रवाहहि प्रबल असतो.

एकाच दिशेनें वाहणारा प्रवाह उत्पन्न करणारें यंत्र (Direct current dynamo).

सव्यापसव्य विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करणाऱ्या यंत्रांतील गुंडाळीचीं टोंकें दोन निरनिराळ्या कड्यांना न जोडतां विलग केलेल्या एकाच कडीच्या अर्ध भागास जोडलीं तर त्यांचें एकाच दिशेनें वाहणारा विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करणारें यंत्र तयार होतें. कडीचे 'य' आणि 'र' हे अर्ध भाग एकमेकांस लागणार नाहींत अशा रीतीनें रोधित पदार्थाचे सहाय्यानें ज्या आंसाभोंवतीं गुंडाळी फिरते त्यावर बसविलेले असतात.



आकृति १९४

आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें चुंबक ध्रुव ठेवून घड्याळाच्या काट्यांच्या विरुद्ध दिशेने गुंडाळी फिरविली तर 'अब' मध्यें 'अ—ब' दिशेने वाहणारा व 'कड' मध्यें 'क—ड' दिशेनें वाहणारा प्रवाह असें प्रवाह उत्पन्न होतात. 'अब' तार कडीच्या 'य' भागास जोडलेली असून 'कड' तार 'र' भागाशी सांधलेली असते. म्हणून 'त' आणि 'थ' या कमानी सांधून मंडल पूर्ण केलें म्हणजे गुंडाळींतील प्रवाह कमानींतून बाहेर पडतो व 'त' मधून पुनः गुंडाळींत शिरतो. 'अब' तार वर जाऊं लागतांच 'कड' तार खालीं येऊं लागते व त्यांच्यातील प्रवाहांच्या दिशा 'ड—क' आणि 'ब—अ' अशा होतात. म्हणजे 'अ' कडून प्रवाह गुंडाळींत शिरण्याचे ऐवजी तो आता 'अ' मधून बाहेर पडतो. पण 'अब' आणि 'कड' या तारा 'य' आणि 'र' भागास अशा रीतीनें जोडलेल्या असतात कीं त्यांच्या मधील प्रवाहाची दिशा ज्यावेळीं बदलते त्याचवेळीं 'अब' तारेस जोडलेल्या 'य' भागाचा 'त' या कमानीशी असलेला संबंध तुटून तो 'थ' या कमानीशीं जोडला जातो. व 'र' भाग 'त' शीं जोडला जातो. म्हणून याहि वेळीं प्रवाह 'थ' कमानींतूनच बाहेर पडतो व 'त' मधून परत येतो. याप्रमाणें गुंडाळी कोणत्याहि स्थितींत असली तरी गुंडाळींत उत्पन्न होणारा प्रवाह 'थ' मधून बाहेर पडतो व 'त' मधून गुंडाळींत परत येतो. म्हणजे मंडलांतील प्रवाह नेहमी एकाच दिशेनें वाहतो. अशा रीतीनें विभागलेल्या कडीच्या सहाय्यानें सव्यापसव्य प्रवाहाचे एकाच दिशेनें वाहणाऱ्या प्रवाहांत रूपांतर करतां येतें म्हणून या विभागलेल्या कडीस **विभागलेल्या कडीचा दिशा प्रवर्तक** (Split Ring Commutator) असें म्हणतात.

विद्युदुत्पादक यंत्रांत आर्मेचर (armature) फिरविण्याकरितां शक्तीची आवश्यकता असते. ही शक्ति एंजिनच्या साहाय्यानें उत्पन्न केलेली असते किंवा नैसर्गिकहि असते. पाणचक्कींत ज्याप्रमाणें वरून पडणाऱ्या पाण्याच्या अंगी असलेल्या शक्तीचा चक्की फिरविण्याचे कामीं उपयोग करतात त्याप्रमाणें विद्युत्पादक यंत्रांतील आर्मेचर फिरविण्याकरतां धबधब्यांचा उपयोग करतात. अशा रीतीनें वरून खालीं पडणाऱ्या

पाण्याच्या अंगी असलेल्या शक्तीचें विद्युत् शक्तींत रूपांतर करतां येतें. म्हणून ज्या कारखान्यांतून वरून खालीं पडणाऱ्या पाण्याच्या सहाय्यानें वीज उत्पन्न करतात त्यास (Hydroelectric Works) म्हणतात. काश्मीरांत पुष्कळ ठिकाणीं धबधबे असल्यानें तेथें वीज या पद्धतीनें उत्पन्न करतात. टाटा कंपनीचा अशा प्रकारचा एक कारखाना खोपोलीस आहे.

विद्युद्दाब प्रवर्तक (Transformers).

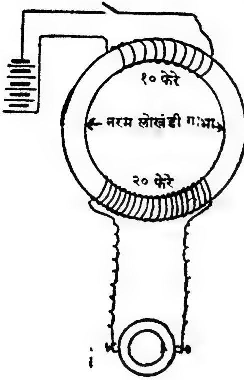
कमी दाबाच्या विद्युत्प्रवाहापासून जास्त दाबाचा विद्युत्प्रवाह किंवा जास्त दाबाच्या विद्युत्प्रवाहापासून कमी दाबाचा विद्युत्प्रवाह उत्पन्न करण्याची ही एक योजना असते.

यांत एका नरम लोखंडी गाभ्या(Core)वर एकावर एक किंवा एका शेजारी एक अशा रोधित तारेच्या गुंडाळ्या गुंडाळलेल्या असतात. यांपैकीं एका गुडाळींत कमी फेरे असून दुसरींत ते जास्त असतात. ज्या मानानें विद्युद्दाबांत फरक करावयाचा असतो त्या मानानें या फेऱ्यांची संख्या निश्चित केलेली असते. विद्युद्दाब वाढवावयाचा झाल्यास कमी फेरे असलेल्या गुंडाळींतून प्रवाह सोडतात व दुसऱ्या गुंडाळींत प्रवर्तित झालेला प्रवाह उपयोगांत आणतात व दाब कमी करावयाचा झाल्यास जास्त फेरे असलेल्या गुंडाळींतून प्रवाह सोडतात. कमी फेरे असलेली गुंडाळी जाड तारेची असते. या गुंडाळीस मुख्य गुंडाळी (Primary Coil) व दुसरीस दुय्यम गुंडाळी (Secondary Coil) असें म्हणतात.

विद्युद्दाब प्रवर्तकाचे तत्त्व:—

आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एका पाऊण इंच जाडीच्या व सुमारे ५।६ इंच व्यासाच्या नरम लोखंडी कडीवर एका बाजूस जाड रोधित तारेचे १० फेरे गुंडाळा व तारेचीं टोंकें विद्युद्घटास 'दाबगुंडी' (Push Button) चे द्वारें जोडा. या गुंडाळीस मुख्य गुंडाळी (Primary Coil) म्हणतात. याच कडीवर दुसऱ्या बाजूस बारीक रोधित तारेचे २० फेरे गुंडाळा व या तारेचीं टोंकें प्रवाह मापकास जोडा. या गुंडाळीस दुय्यम गुंडाळी (Secondary coil) म्हणतात. पहिल्यानें गुंडी

दाबा, ती तशीच दाबून ठेवा व नंतर गुंडी सोडा. प्रत्येक वेळीं प्रवाह मापकांतील सुईच्या हालचालीचें नीट निरीक्षण करा. तुम्हांस असें आढळेल कीं गुंडी दाबतांच प्रवाह मापकातील सुई एका दिशेनें वळते. गुंडी दाबून तशीच राहू दिली असता ती पूर्व ठिकाणीं येते व गुंडी सोडताच पूर्वी ज्या बाजूस वळली होती त्याच्या विरुद्ध बाजूस वळते. यावरून पहिल्या गुंडाळींतून जेव्हां प्रवाह वाहूं लागतो अथवा बंद होतो तेव्हां दुसऱ्या गुंडाळींत प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न होतो.



आकृति १९५

मुख्य गुंडाळींतून प्रवाह वाहूं लागतांच लोखंडीकडींत चुंबकत्व येतें व चुंबक बलरेषा कडींतच उत्पन्न होतात. या बलरेषा दुय्यम गुंडाळींतून जाऊं लागतांच तिच्यांत क्षणिक प्रवाह उत्पन्न होतो. प्रवाह बंद करतांच कडींतील चुंबकत्व नाहीसें होतें व त्यामुळें बलरेषा नाहीशा होतात, म्हणजे गुंडाळींतून काढून घेतल्या जातात. म्हणून गुंडाळींत विरुद्ध प्रकारचा क्षणिक प्रवाह उत्पन्न होतो. अशा प्रकारे दुय्यम गुंडाळींतून जाणाऱ्या बलरेषांची संख्या सारखी बदलती ठेवल्यास तिच्यांत विद्युत्प्रवाह उत्पन्न होतो.

मुख्य गुंडाळींत सव्यापसव्य प्रवाह जाऊं दिल्यास गुंडी दाबून किंवा सोडून जें कार्य होतें तें तर होतेच परंतु दुय्यम गुंडाळींतून जाणाऱ्या बल रेषांची दिशाहि क्षणोक्षणीं बदलते म्हणून दुय्यम गुंडाळींत सव्यापसव्य प्रवाह उत्पन्न होतो.

दुय्यम गुंडाळीतील प्रवर्तित प्रवाहाचा दाब, प्रत्येक फेऱ्याच्या टोंकांत उत्पन्न होणारा दाब व फेऱ्यांची संख्या यांच्या गुणाकाराइतका असतो.

अथवा

गुंडाळीच्या टोंकांमधील विद्युद्दाब = { प्रत्येक फेऱ्याच्या टोंकांमधील विद्युद्दाब } × फेऱ्यांची संख्या.

यावरून दुय्यम गुंडाळींत जितके अधिक फेरे असतात तितका तिच्या टोंकांमधील विद्युद्दाबहि अधिक असतो.

जेव्हां दुय्यम गुंडाळीतील फेरे मुख्य गुंडाळींतील फेऱ्यांच्या दुप्पट असतात, तेव्हां तिच्या टोंकांमधील विद्युद्दाब मुख्य गुंडाळीच्या टोंकांमधील विद्युद्दाबाच्या दुप्पट असतो व जेव्हा ते फेरे मुख्य गुंडाळीतील फेऱ्यांच्या निम्मे असतात, तेव्हां तिच्या टोंकांमधील विद्युद्दाबहि निम्मे असतो.

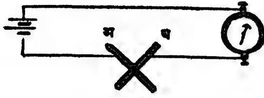
विद्युत् शक्ति नेहमी अम्पीयर × व्होल्ट या गुणाकारानें म्हणजे वॅट (Watt) नें मोजतात. ज्या विद्युत् शक्तीमुळें हा प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न होतो त्या शक्तीपेक्षां जास्त शक्ति उत्पन्न करणें शक्य नसल्याने, जेव्हां दुय्यम गुंडाळीच्या टोंकांमधील दाब वाढवि ो तेव्हां तिच्यांतून वाहणारा प्रवाह त्या प्रमाणांतच कमी होतो.

१०० अम्पीयरचा व ५० व्होल्ट दाब असलेला प्रवाह पाठवून किंवा १० अम्पीयरचा व ५०० होल्ट दाब असलेला प्रवाह पाठवून आपणास ५००० वॅट विद्युतशक्ति एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणीं पाठवितां येते. पण १०० अम्पीयरचा प्रवाह वाहून नेण्याकरतां तांब्याची फार जाड तार वापरावी लागते व दोन ठिकाणांमधील अंतर जेव्हां जास्त असते तेव्हां अशी जाड तार वापरणें फार खर्चाचें होते. परंतु विद्युद्दाब जास्त असल्यास बारीक तारहि वापरता येते. म्हणून जेथें विद्युत् उत्पन्न करतात तेथें विद्युद्दाब वाढविणाऱ्या (Step up) ट्रॅन्सफार्मरचा उपयोग करून दाब वाढवितात व प्रवाह कमी करून पाठवितात. जेथें वीज वापरावयाची असते तेथें अधिक विद्युद्दाब असलेली वीज वापरणें धोक्याचें असल्यानें विद्युद्दाब कमी करणारा (Step down) ट्रॅन्सफार्मर वापरून दाब कमी करतात.

ध्वनिवर्धक (Microphone).

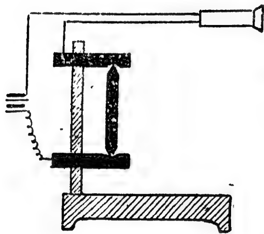
प्रयोग १९५—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें विद्युद्घट, अम्मीटर व दोन कार्बनच्या कांड्या एकापुढे एक (in series) जोडून विद्युन्मंडल पूर्ण

करा. ॲम्मीटरच्या सहाय्यानें मंडलांतून किती प्रवाह वाहात आहे तें पाहा. कार्बनच्या कांडया पहिल्यानें हळूच एकमेकांवर दाबा व मंडलांतून वाहणाऱ्या प्रवाहावर कांहीं परिणाम होतो कां पाहा. कांडयावरील दाब हळूहळू वाढवा व नंतर तो हळूहळू कमी करा व मंडळांतील प्रवाहांत होणाऱ्या फरकाचें नीट निरीक्षण करा. तुम्हांस असें दिसेल कीं कार्बनच्या कांडयांवरील दाब जसजसा वाढत जातो तसतसा मंडलांतून वाहणारा प्रवाह वाढतो व दाब कमी होऊं लागला म्हणजे प्रवाहहि कमी होतो. याच गोष्टीचा ध्वनिवर्धकाच्या रचनेंत उपयोग केलेला असतो.



आकृति १९६

जे आवाज साधारणतः आपणांस ऐकूं येणार नाहींत ते स्पष्टपणें ऐकूं यावेत म्हणून या यंत्राचा उपयोग करतात. या यंत्राची रचना आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें असते. एका लांकडी आधारावर एक फळी उभी बसविलेली असते. या फळींत शंक्वाकृति खांचा असलेल्या कार्बनच्या दोन पट्टया बसविलेल्या असतात. या पट्टयांतील खाचांत दोन्हीकडे पेन्सिलीसारखी टोंकें असलेली कार्बनची कांडी सैलशी बसविलेली असते. विद्युद्घट, ध्वनिवर्धक आणि टेलिफोन हे आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एकमेकांस जोडून ठेवले तर ध्वनिवर्धकाच्या लांकडी आधारावर चालत असलेल्या माशीच्या पायाचा आवाज देखील आपणास टेलिफोनमधून ऐकूं येईल. माशीच्या चालण्यानें अथवा लहान घडयाळाच्या टकटकण्यानें लांकडी आधारांत कंप उत्पन्न होतात. या कंपामुळें कार्बनच्या कांडयावरील दाब कमजास्त होतो. म्हणून मंडलांतून प्रवाह कमी जास्त वाहूं लागतो. टेलिफोनच्या ध्वनिग्राहकांतील नरम लोखंडी तुकडयांभोंवती गुंडाळलेल्या तारेतून हा बदलणारा प्रवाह जाऊं लागला म्हणजे त्याच्या चुंबक शक्तीं-



आकृति १९७

बदल होतो व त्यामुळें त्या चुंबकाचे समोर असलेला पोलादी बारीक पडदा कंप पावूं लागतो व आवाज उत्पन्न होतो.

ध्वनिप्रेषक यंत्र (Telephone)

या यंत्रांत बोलण्यामुळें उत्पन्न होणाऱ्या ध्वनिलहरींचें रूपांतर विद्युत्-प्रवाहाच्या चढउतारांत होते. हा प्रवाहांत होणारा चढउतार दुसऱ्या ठिकाणीं ठेवलेल्या यंत्रा पावेतों तारेंतून जातो. तेथें या विद्युत्प्रवाहांतील चढउताराचे पुन: ध्वनिलहरींत रूपांतर होते. या ध्वनिलहरी या यंत्रातून बोलणाऱ्या माणसाच्या बोलण्यानें उत्पन्न होणाऱ्या ध्वनिलहरींशीं तंतोतंत जुळत्या असतात.

ध्वनिप्रेषक यंत्राची (Telephone) ची रचना. ज्या भागांत बोलावयाचे असतें त्याच्या बुडाशीं कर्बाचा (carbon) एक लवचिक पडदा असतो. हा पडदा एका गोल कडीवर बसविलेला असतो. या पडद्याच्या मागच्या बाजूस कांहीं अंतरावर कर्बाची दुसरी एक जाड पट्टी असते. ही पट्टी व पडदा यांच्यामध्यें कडे कडेनें रुई बसविलेली असते. मधल्या पोकळ जागेंत कर्बाचे कण भरलेले असतात. पडदा विद्युद्-घटाच्या एका ध्रुवास जोडलेला असतो. कर्बाची जाड पट्टी दुसऱ्या



आकृति १९८

ठिकाणीं असलेल्या ग्राहकाशीं तारेनें जोडलेली असते. ग्राहकांत दंड गोलाकार चुंबकाच्या एका टोंकास नरम लोखंडी तुकडा जोडलेला असतो. या नरम लोखंडी तुकड्याभोंवतीं बारीक रोधित तार गुंडाळलेली असते. या तारेचीं टोंकें एका ठिकाणापासून दुसऱ्या ठिकाणापर्यंत असलेल्या तारांना जोडलेलीं असतात. नरम लोखंडी तुकड्यासमोरच

लवचिक पोलादी पडदा असतो. विद्युन्मंडल तारायंत्राप्रमाणें जमीनीच्या द्वारें पुरें न करतां तारेनेंच पूर्ण केलेलें असते.

कार्यः—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें मांडणी केली म्हणजे मंडलांतून सारखा प्रवाह वाहतो. ध्वनि प्रेषक (Transmitter) च्या पडद्यावर ध्वनि लहरी आपटल्यानें तो पुढें मागें होतो. पडदा आंत जातो तेव्हां कर्ब कण दाबले जातात, त्यामुळें विद्युत् प्रवाहास मंडलांतून वाहण्यास होणारा विरोध कमी होतो, व म्हणून मंडलांतून प्रबल प्रवाह वाहूं लागतो. तो पुढें आला म्हणजे कर्ब कणांवरील दाब कमी होतो व त्यामुळें ते कण एकमेकांपासून दूर दूर होतात. विद्युत् प्रवाहास यामुळें अधिक विरोध होतो व मंडलांतून क्षीण प्रवाह वाहूं लागतो. प्रवाहात होणाऱ्या या फरकामुळें ग्राहकांतील विद्युच्चुंबकाच्या ध्रुवशक्तींत फरक पडतो व त्यामुळें पोलादी पडद्यावरील आकर्षणांतहि तसाच फरक होतो व पडदा कंप पावूं लागतो. पडद्याच्या कंपामुळें त्याच्या पुढें असलेल्या हवेंत ध्वनि उत्पादक लहरी उत्पन्न होतात. या लहरी ज्या ध्वनि लहरींनी प्रेषकांतील पडदा हालत होता त्या सारख्याच तंतोतंत असतात.

कर्ब कणांच्या जवळ येण्यानें अथवा दूर जाण्यानें विद्युत् प्रवाहास होणाऱ्या विरोधांत फारच थोडा फरक होतो. यामुळें मंडलांतून वाहणाऱ्या प्रवाहांत फारसा फरक होत नाहीं. ही अडचण दूर करण्याकरतां क्षेपकाचे जवळच विद्युन्मंडलांत प्रवर्तक गुंडाळी (induction coil) घालतात, व कमी जास्त होणारा प्रवाह या गुंडाळीच्या मुख्य मंडलांतून जाऊं देतात. यामुळें प्रेषक-मंडलाचा (Transmitter circuit) विरोध कमी करतां येतो व म्हणून प्रवाहाचा चढ उतार वाढवितां येतो. मुख्य मंडलांतील प्रवाहांत होणाऱ्या या चढ उतारामुळें फारच मोठ्या प्रमाणांत चढ उतार होणारा प्रवाह उपमंडलांत उत्पन्न होतो. कारण उपमंडलांतील वेटोळ्यांची संख्या मुख्य मंडलांतील वेटोळ्यांच्या संख्येपेक्षां फारच जास्त असते. या प्रवाहामुळें ग्राहकांतील विद्युच्चुंबकाच्या आकर्षण शक्तींत पुष्कळ फरक होतो व त्याचे समोर असलेल्या पोलादी पडद्याच्या मागें पुढें होण्यानें ध्वनि उत्पादक वायुलहरी उत्पन्न होतात.

प्रश्नसंग्रह २० वा.

(१) प्रवर्तित प्रवाह म्हणजे काय ? चुंबक अथवा (प्रवाहवाही तारेची गुंडाळी) आणि दुसरी गुंडाळी यांच्या सापेक्ष स्थितींत बदल होत असेल तरच प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न होतो पण त्यांच्या सापेक्ष स्थितींत बदल होत नसेल तर प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न होत नाही हें दाखविण्याकरतां प्रयोग लिहा.

(२) प्रवर्तित प्रवाहाची दिशा ठरविण्याचा नियम लिहा. मुख्य मंडलांतून जो प्रवाह वाहत आहे त्यामुळें त्याच्या वरील पृष्ठ भागावर उत्तर ध्रुव निर्माण होतो. हें मंडल त्याचे खालीं असलेल्या उपमंडलाकडे एकदम आणल्यास प्रवाह कोणच्या दिशेनें वाहील ?

(३) विद्युत्प्रवाहोत्पादक (Dynamo) चे वर्णन करा व त्याचें कार्य थोडक्यांत समजाऊन सांगा.

(४) ध्वनिप्रेषक यंत्राचें (Telephone) कार्य नीट सम जाऊन सांगा.

(५) चुंबक क्षेत्रांत रोधित तारेची गुंडाळी बलरेषांना समांतर हालत असेल तर प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न होईल का ? प्रवर्तित प्रवाह उत्पन्न होण्याकरतां गुंडाळी चुंबकक्षेत्रांत कशी हालली पाहिजे तें सांगा.

विज्ञान-भाग ४ था.

प्रकरण २१ वें.

प्रकाश

प्रकाश म्हणजे काय ?

प्रयोग १९६—अंधाऱ्या खोलींत आगकाडी न्या; ती दिसते का पाहा. काडी पेटवा व आतां ती दिसते का पाहा. काडी पेटविल्यानंतर दिसूं लागते असें दिसेल.

प्रयोग १९७—लोखंडी पट्टी अंधार असलेल्या खोलींत ठेवा व ती दिसते का पाहा. तिला पहिल्यानें हळूहळू तापवा व ती दिसूं लागते का पाहा. नंतर तिला शुभ्रोष्ण करा. ती पट्टी व तिच्या जवळचे इतर पदार्थ दिसतात का पाहा. पट्टी अंधार असलेल्या खोलींत ठेवली असतां दिसत नाहीं पण तापविली असतां ती दिसूं लागते व फारच तापविली तर तिच्या मुळें तिच्या जवळ असलेले इतर पदार्थहि दिसूं लागतात असें आढळेल.

प्रयोग १९८—अंधाऱ्या खोलींत टांगलेला विजेचा दिवा दिसतो का पाहा. दिव्यांतून विद्युत्प्रवाह जाऊं द्या व काय फरक होतो तो पाहा. पहिल्यानें खोलींत असलेला दिवाच मुळीं दिसत नाहीं पण दिव्यांतील तारेंतून विद्युत्प्रवाह जाऊं लागतांच दिवा दिसूं लागतो; एवढेंच नव्हे, तर त्यामुळें खोलींतील इतर सर्व पदार्थहि दिसूं लागतात असें दिसेल.

वरील प्रयोगावरून असें दिसेल कीं प्रकाश व उष्णता किंवा विद्युत् यांचा निकट संबंध असला पाहिजे. मागील भागांत आपण असे पाहिलें आहे कीं उष्णता व विद्युत् या शक्ती आहेत; म्हणून प्रकाश देखील एक प्रकारची शक्ति आहे.

प्रकाशाविषयींच्या कल्पना (theories regarding the nature of of light)

(१) कण वाद (corpuscular theory)

प्रकाश हा अत्यंत सूक्ष्म कणांचा बनलेला असून हे कण प्रत्येक प्रकाशित पदार्थापासून निघतात. यांची गति दर सेकंदास १८६००० मैल असते. हे कण पूर्ण स्थितिस्थापक असून ते पारदर्शक पदार्थांतून सहज जाऊं शकतात.

प्रकाशाचें सरळ रेषेनें जाणें, प्रकाश परावर्तन, वक्रीभवन इत्यादि सृष्ट चमत्कार वरील कल्पनेच्या सहाय्यानें सहज समजावून देतां येतात, म्हणून इ. स. १८०० पर्यंत प्रकाशाविषयींची हीच कल्पना प्रचलित होती.

(२) लहरी वाद (wave theory)

प्रसिद्ध डच शास्त्रज्ञ **हायगेन्स** (Huyghens) यानें प्रकाशाविषयीं एक नवीनच कल्पना सुचविली. प्रकाश ही ध्वनिप्रमाणें लाटांमुळें पसरणारी गति आहे असें तो मानीत असे.

ही कल्पना मान्य करण्यास पुढीलप्रमाणें दोन मोठ्या अडचणी होत्या.

ध्वनीला एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणीं जाण्यास माध्यमाची आवश्यकता असते, त्याप्रमाणें प्रकाशाला नसते; एवढेंच नव्हे, तर तो निर्वात भागांतूनहि जाऊं शकतो. जर प्रकाश ही लाटांमुळें पसरणारी गति असेल तर लाटा उत्पन्न होण्यास एकादें माध्यम असावयास पाहिजे. हें माध्यम सर्व अवकाशांत (space) पसरलेलें पाहिजे व त्यामुळें खगोलांच्या (ताऱ्यांच्या अथवा ग्रहांच्या) गतीस विरोध होतां कामा नये.

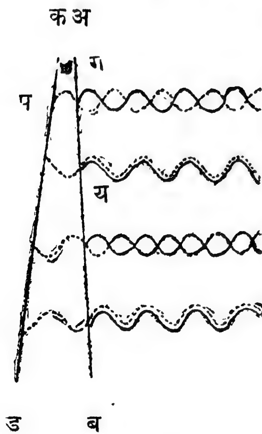
इथर (ether) नांवाचें एक सर्व व्यापी माध्यम कल्पून हायगेन्सनें ही अडचण दूर केली.

(२) प्रकाश जर लहरीमय आहे तर तो सरळ रेषेंतच कसा जातो? पाणी, ध्वनि इत्यादींच्या लाटा कोपऱ्या भोंवतीं सहज वळतात मग प्रकाशाच्या लाटा तशा कां वळत नाहींत? या प्रश्नाची उत्तरें हायगेन्सनें सुचविलेल्या कल्पनेच्या आधारें समाधानकारक रीतीनें देतां येणें कठिण होतें म्हणून **न्यूटन** सारख्या प्रख्यात शास्त्रज्ञांनी देखील या कल्पनेचा त्याग केला व प्रकाश हा सूक्ष्म कणांचा बनलेला आहे हीच कल्पना मान्य केली.

वरील अडचणींचें (शंकांचें) समाधानकारक निरसन गेल्या शतकांत करण्यांत आलें एवढेंच नव्हे, तर प्रकाशाचे असे कांहीं नवीन गुणधर्म —उदाहरणार्थ (interference) लहरी विच्छेदन—शोधून काढले गेले कीं त्यांचा समाधानकारक खुलासा फक्त हायगेन्सच्या कल्पनेनेंच करतां येतो. म्हणून प्रकाशाविषयीं हीच कल्पना आतां सर्वमान्य झाली आहे.

प्रयोग १९९—१ सें. मी. रुंद व ७।८ से. मी. लांब अशा कांचेच्या दोन पट्ट्या घ्या. त्यांच्या एकीकडील टोंकांत एक कागदी पट्टी अथवा केस ठेवा व दुसरीकडील टोंकें पकडींत दाबून धरा. मिठाच्या द्रावणांत भिजविलेलें ॲस्बेस्टॉसचे तंतू मद्यार्काच्या दिव्याच्या ज्योतीवर धरून शुद्ध पिवळ्या रंगाची ज्योत मिळवा. या ज्योतीचें कांचेच्या पट्ट्यांत दिसणारें प्रतिबिंब पाहा. कांचेवर काळ्या व पिवळ्या रंगांचे पट्टे दिसतील.

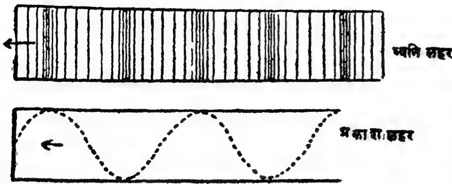
समजा ' अ ब ' आणि ' क ड ' हे, वरील प्रयोगांत घेतलेल्या कांचेच्या पट्ट्यांचे एकमेकांसमोर असलेले आंतील पृष्ठभाग आहेत. दिव्यापासून येणारा प्रकाश या दोन्हीहि पृष्ठ भागांपासून परावर्तन पावेल. समजा बाजूचे आकृतींत ' अ ब ' पृष्ठ भागापासून परावृत्त झालेल्या प्रकाश लहरी अखंड रेषांनी व 'क ड' पासून परावृत्त झालेल्या प्रकाश लहरी तुटक रेषांनी दाखविलेल्या आहेत. ' ग ' आणि ' प ' पासून परावृत्त झालेल्या लाटा इथरमध्यें ' ग ' या ठिकाणीं विरुद्ध प्रकारची हालचाल सुरू करतात व त्यामुळें त्या एकमेकींचा नाश करतात म्हणून ' ग ' येथें काळा पट्टा दिसतो. ' य ' या ठिकाणीं त्या लाटा इथरमध्यें एकच प्रकारची हालचाल सुरू करतात त्यामुळें त्या एकमेकांस पोषक होऊन ' य ' येथें प्रकाशाचा पिवळा पट्टा दिसतो.



आकृति १९९

कणवादाप्रमाणें (corpuscular theory) लहरी विच्छेदनाचा (interference) सृष्ठ चमत्कार नीट समजाऊन देतां येत नसल्यानें प्रकाश हा अत्यंत सूक्ष्म कणांचा बनलेला आहे ही कल्पना अगदीं अग्राह्य ठरली.

प्रकाशाच्या लाटा व ध्वनीच्या लाटा यांच्यामध्यें एक अत्यंत महत्वाचा फरक आहे, हा शोध हायगेन्सनें १६९० साली लावला. ध्वनीच्या लाटा एखाद्या माध्यमांतून ज्या दिशेनें जातात त्याच दिशेनें त्या माध्यमांत पुढें मागें हालचाल झाल्यामुळें उत्पन्न होतात, पण प्रकाशाच्या लाटा ज्या दिशेनें जातात त्या दिशेशीं काटकोन करणाऱ्या दिशेनें इथरची हालचाल झाल्यामुळें उत्पन्न होतात. या दोन्ही प्रकारच्या लाटांत असणारा हा फरक पुढील प्रयोगांचे सहाय्यानें नीट लक्षांत येईल.



आकृति २००

प्रयोग २००—आकृति एकमध्यें दाखविल्याप्रमाणें एक लांब दोरी, दोन समांतर ठेवलेल्या पडद्यांतील फटींतून ओवा. फटीच्या लांबीच्या दिशेनें दोरीच्य एका टोंकास हिसडा द्या. दोरींत उत्पन्न झालेल्या लाटा फटींतून सहज जाऊं शकतात असें दिसेल.



आकृति २०१

प्रयोग २०१—वर सांगितल्या प्रमाणेंच या प्रयोगांत देखील दोन समांतर ठेवलेल्या पडद्यांतील फटींतून एक लांब दोरी ओवा. या वेळीं पडद्यांतील फटींची लांबी एकमेकींशीं काटकोन करून राहील अशा रीतीनें पडदे ठेवा. दोरीच्या



आकृति २०२

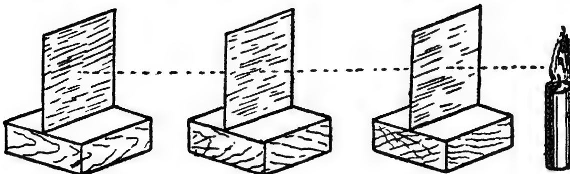
टोंकास पहिल्या फटीच्या लांबीच्या दिशेनें हिसडा द्या. दोरींत उत्पन्न झालेल्या लाटा पहिल्या फटींतून सहज जातात पण दुसरींतून मात्र त्या जाऊं शकत नाहींत असें दिसेल.

प्रकाश नेहमीं सरळ रेषेनें जातो. (Rectilinear propagation of light)

प्रयोग २०२—कौलारांतून येणाऱ्या सूर्य किरणांमुळें प्रकाशित झालेल्या धुळीच्या कणांकडे पाहिल्यास किरणांचा मार्ग स्पष्ट दिसेल. या किरणांचा मार्ग सरळ आहे कीं वक्र आहे, जमीनीवर पडणाऱ्या कवडाशाचा आकार कसा आहे, किरणांच्या दिशेशीं काटकोन करून ठेवलेल्या कागदावर पडणारा कवडासा लंब वर्तुलाकार दिसतो कीं गोल दिसतो, इत्यादि गोष्टी नीट काळजीपूर्वक पाहा. किरणांचा मार्ग सरळ असून त्यामुळें जमीनीवर पडणारा कवडासा लंबवर्तुलाकार अथवा गोल दिसतो व किरणाच्या मार्गास काटकोन करून कागद धरल्यास त्यावर पडणारा कवडासा गोल दिसतो असें आढळेल.

प्रयोग २०३—चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. कागदावर एक टांचणी रोवा. तिच्यापुढे दुसरी टांचणी रोवा. या दुसऱ्या टांचणीपुढे, पहिली व दुसरी या दोन्ही टांचण्या झांकल्या जातील अशा रीतीनें तिसरी टांचणी रोवा. टांचण्या काढून घेऊन त्या ज्या जागीं रोवल्या होत्या त्या बिंदूभोंवतीं लहान वर्तुळें काढा. फूटपट्टीनें हे तीन्ही बिंदू सांधण्याचा प्रयत्न करा. याचप्रमाणें दोन तीन वेळां प्रयोग करा. प्रत्येक वेळी या तीन बिंदूतून सरळ रेषा काढतां येते का पाहा. ती तशी काढतां येते असें दिसेल.

प्रयोग २०४—४ इंच लांबी रुंदीचे खरडयाचे तीन चौरस तुकडे घ्या. प्रत्येक तुकड्यावर त्याचे कर्ण काढा व कर्णांच्या छेदन बिंदूचे ठिकाणीं



आकृति २०३

बारीक छिद्र पाडा. १″×४″×४″ असे तीन लांकडी ठोकळे घ्या व त्यांच्या लांबीस समांतर व रुंदीचे मध्यभागीं $\frac{1}{2}$″ खोलीपर्यंत कापा. अशारीतीनें तयार झालेल्या फटींत एकएक खरड्याचा तुकडा बसवा. तीन्ही खरडे एकामागें एक ठेवा. खरड्यांतील छिद्रांतून एक दोरा ओवा व त्यास ताठ ओढा, म्हणजे तीन्ही खरड्यांचीं छिद्रें एका रेषेंत येतील. खरडे न हालवितां दोरा काढून घ्या. पहिल्या खरड्यातील छिद्रांसमोर जळती मेणबत्ती ठेवा व तिसऱ्या खरड्यांतील छिद्रांतून मेणबत्तीची ज्योत तुम्हांस दिसते का पाहा. ती तुम्हांस दिसेल. कोणताही तुकडा किंचित हालवा व ज्योत दिसते का पाहा. या वेळीं ती तुम्हांस दिसणार नाहीं.

सूक्ष्मछिद्र प्रकाशलेखन यंत्र (Pinhole camera)

प्रयोग २०५—सुमारें ३॥ इंच उंचीचा व २॥ इंच व्यासाचा टिनाच्या पत्र्याचा डबा घेऊन त्याच्या बुडास मध्यभागीं खिळ्यानें एक बारीक छिद्र पाडा. ३॥ इंच व्यासाचे तेल कागदाचे (tissue paper) वर्तुळ कापा. त्याच्या कडांना थोडासा डिंक लावून तो कागद डब्यांत बसवा. बाहेरील उजेड डोळ्यांवर येऊं नये म्हणून डब्याचे बाजूस हात लावून डब्याचें बूड दाराकडे करा व आंतील कागदावर काय दिसतें तें पाहा. दाराची कोणची बाजू वर दिसते ? तसेंच मेणबत्तीच्या ज्योतीकडेहि डब्यांतून पाहा. मेणबत्तीची ज्योत कागदावर सरळ दिसते कीं उलटी दिसते ? डब्यापासून ज्योतीचें अंतर कमी जास्त करा व कागदावर दिसणाऱ्या प्रतिमेच्या आकारांत (size) काय फरक होतो तो पाहा.



आकृति २०४

डब्याच्या बुडास निरनिराळ्या आकाराचीं छिद्रें पाडा व त्यामुळें ज्योतीच्या प्रतिमेच्या आकारांत (shape) फरक पडतो का पाहा.

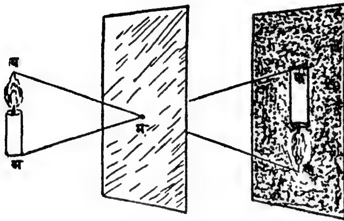
या प्रयोगावरून पुढील गोष्टी सिद्ध होतात असें दिसेल.

(१) प्रकाश सरळ रेषेनें जातो; कारण डब्यांतील कागदावर दिसणाऱ्या पदार्थांच्या प्रतिमा उलट असतात.

(२) पदार्थाचें छिद्रापासूनचें अंतर कमी झाल्यास प्रतिमा मोठी दिसते व अंतर वाढल्यास ती लहान दिसते.

(३) प्रतिमेचा आकार (shape) छिद्राच्या आकारावर (shape) अवलंबून असत नाहीं; तो मूळ पदार्थाच्या आकारासारखा असतो.

प्रयोग (१९६)मध्यें दिसणाऱ्या कवडाशाचा आकार गोल दिसतो तो कां? प्रयोग (१९६-९९)वरून प्रकाश नेहमीं सरळ रेषेनें जातो हें सहज सिद्ध होतें.



आकृति २०५

सूक्ष्म छिद्र प्रकाश लेखन यंत्रासमोर ठेवलेल्या 'अब' या पदार्थाची 'कख' ही प्रतिमा आहे.

'अबम' आणि 'कखम' हे सदृश अथवा समकोन त्रिकोण असल्या. मुळें त्यांच्या संगत बाजू प्रमाणांत असतात.

$$\therefore \frac{\text{कख}}{\text{अब}} = \frac{\text{कम}}{\text{अम}}$$

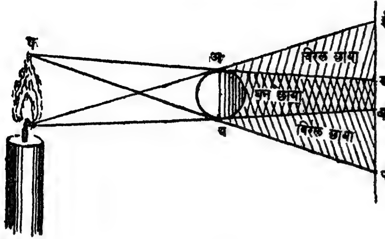
अथवा $$\frac{\text{प्रतिमेची उंची}}{\text{पदार्थाची उंची}} = \frac{\text{प्रतिमेचें अंतर (छिद्रापासून)}}{\text{पदार्थाचें अंतर. (छिद्रापासून)}}$$

छाया (Shadows).

प्रयोग २०६—रुंद ज्योतीच्या दिव्यासमोर ठेवलेल्या पांढऱ्या स्वच्छ पडद्या पुढें त्याचे अगदी जवळ पेन्सिली सारखा अरुंद अपार दर्शक पदार्थ ठेवा. त्याची छाया पडद्यावर कशी दिसते तें पाहा. तिची रूपरेषा स्पष्ट असून तिचा काळेपणाहि सगळीकडे सारखा आहे असें दिसेल. पडदा न हालवतां अपारदर्शक पदार्थ दिव्याकडे हळू हळू सरकवा व छायेंत काय फरक होतो हें नीट पाहा. तिची रूपरेषा स्पष्ट आहे का? तिचा काळेपणा सगळीकडे सारखा आहे का? या वेळीं तिची रूपरेषा स्पष्ट नसून क्रमशः ती अंधुक होत जाते असें दिसेल. तसेंच छायेचा कड हा मधला भाग अधिक काळा असून बाजूचे 'डई' व 'कफ' हे भाग कमी कमी काळे होणारे आहेत असें दिसेल.

प्रकाश सरळ रेषेनें जातो हेंच या छाया दिसण्याचे कारण आहे.

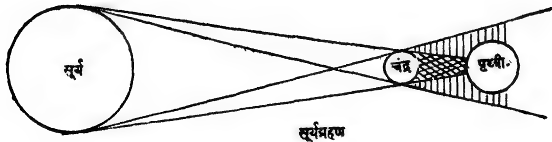
अबकड या भागास दिव्याच्या कोणच्याहि भागापासून प्रकाश मिळत नाहीं म्हणून ड क या जागीं छाया फारच काळी दिसते. या छायेस **घनछाया** (umbra) असें म्हणतात. **अडई** व **बकफ** या भागास दिव्याच्या कांहीं भागापासून उजेड मिळतो म्हणून **डई** व **कफ** या जागीं छायेचा काळेपणा कमी झालेला असतो. या भागांत दिसणाऱ्या छायेस **विरल छाया** (Penumbra) असें म्हणतात. जसजसा पदार्थ पडद्याच्या जवळ जवळ जाईल, अथवा प्रकाशाच्या उगमाचा आकार जसजसा कमी होईल तसतसा विरल छायेचा भाग कमी कमी होईल. पदार्थ जेव्हां पडद्यांचे अगदी जवळ असेल, अथवा प्रकाश जेव्हां एकाच बिंदूपासून निघत असेल तेव्हां विरल छाया मुळींच दिसणार नाहीं व जेव्हा प्रकाशाच्या उगमाचा आकार पदार्थापेक्षां मोठा असेल तेव्हां घन छायेचा आकार शंकू सारखा दिसेल.



आकृति २०६

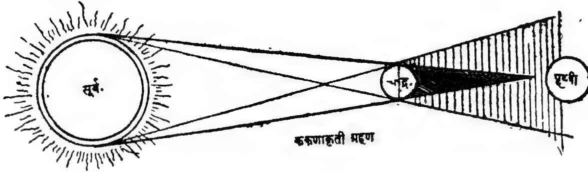
ग्रहणें (Eclipses)

सूर्यग्रहणें:—पृथ्वीला व इतर ग्रहांना सूर्यापासून उजेड मिळतो. पृथ्वी व सूर्य यांच्यामध्यें चंद्र आल्यानें सूर्याचा प्रकाश पृथ्वीवर येऊं शकत नाहीं. पृथ्वीवरील ज्या भागास सूर्याच्या कोणत्याहि भागापासून प्रकाश मिळत नाहीं, अथवा पृथ्वीचा जो भाग चंद्राच्या घनछायेंत असतो त्या



आकृति २०७

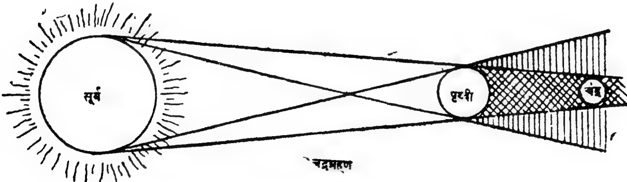
भागावरील लोकांस त्या वेळीं सूर्याचें **खग्रास ग्रहण** (total eclipse) दिसतें, व ज्या भागांस सूर्याच्या कांहीं भागापासून उजेड मिळतो अथवा जो भाग चंद्राच्या विरल छायेंत असतो तेथील लोकांस सूर्याचें **अंश ग्रहण** (partial eclipse) दिसतें. म्हणजे पृथ्वीवरील सर्व ठिकाणीं सूर्य ग्रहण सारखे दिसत नाहीं. सूर्य ग्रहणें नेहमी अमावास्येसच होतात.



आकृति २०८

पृथ्वीचा कांहीं भाग जेव्हां चंद्राच्या घनछायेच्या शंकूच्या आंसावर पण त्याच्या उंचीपेक्षां आधिक अंतरावर असतो, तेव्हां तेथील लोकांस सूर्याच्या मध्यापासूनच फक्त उजेड मिळत नाहीं. पण बाकीच्या (कडे कडील) भागापासून तो मिळत असतो म्हणून त्यास सूर्याचा मधला भाग दिसत नाहीं पण आजूबाजूचा भाग दिसतो. अशा ग्रहणास **कंकणाकृति ग्रहण** (annular eclipse) असें म्हणातात.

चंद्र ग्रहणें:—चंद्र व सूर्य यांच्यामध्यें ज्या वेळीं पृथ्वी येते त्या वेळीं पृथ्वीची छाया चंद्रावर पडते व आपणांस चंद्र ग्रहण दिसतें. ज्या प्रमाणें सांवलींत असलेला पदार्थ कोठूनहि पाहिला तरी सांवलींतच दिसतो, त्याप्रमाणें



आकृति २०९

पृथ्वीच्या सावलींत असलेला चंद्र पृथ्वीवरील ज्या भागांपासून दिसणें

शक्य आहे त्या भागांवरून पाहिल्यास तो सांवलींतच दिसतो व म्हणून चंद्र ग्रहण एकच प्रकारचे दिसते. चंद्र ग्रहणें नेहमी पौर्णिमेसच होतात. पण चंद्राची कक्षा पृथ्वीच्या कक्षेशीं ५° चा कोन करीत असल्यामुळें ती दर पौर्णिमेस होत नाहीत.

प्रश्नसंग्रह २१ वा.

(१) प्रकाशा विषयींच्या निरनिराळ्या कल्पना काय आहेत ?

(२) प्रकाश नेहमी सरळ रेषेनें जातो हें सिद्ध करण्याकरित प्रयोग लिहा.

(३) सूक्ष्म छिद्र प्रकाश लेखन यंत्रांतील छिद्राच्या आकाराचा प्रतिमेच्या आकारावर कांहीं परिणाम होतो का ? हें छिद्र मोठें केल्यास त्याचा प्रतिमेवर काय परिणाम होईल ?

(४) सूर्यबिंब गोल आहे हें कसें सिद्ध कराल ?

(५) प्रकाश लेखन यंत्रांत दिसणाऱ्या प्रतिमेचा आकार (size) पदार्थाच्या छिद्रापासूनच्या अंतरावर अवलंबून असतो हें सिद्ध करा.

(६) घन छाया आणि विरल छाया म्हणजे काय ?

(७) ग्रहणें होण्याचें मुख्य कारण काय ? पृथ्वीवरील सर्व ठिकाणीं सूर्यग्रहण सारखें दिसत नाहीं पण चंद्रग्रहण एक सारखेंच दिसतें याचें कारण काय ?



प्रकरण २२ वें.

परावर्तन (Reflection)

रबरी चेंडू घेऊन ते जर साधारण गुळगुळीत जमीनीवर फेंकलें तर ते ज्या दिशेनें फेंकलें असतील त्याच्या विरुद्ध दिशेनें उसळतात, पण तेच चेंडू खडी पसरलेल्या सडकेप्रमाणें खडबडीत जागेवर टाकले तर त्यांची उसळण्याची दिशा निश्चित नसते व ते सर्व बाजूस उसळतात असा सर्वसाधारण अनुभव आहे.

प्रकाश किरणांचे वर्तन कांहींसें रबरी चेंडूसारखें असतें.

प्रयोग २०७—अंधाऱ्या खोलींत टेबलावर ठेवलेल्या एका सपाट आरशावर सूर्य किरणें लंब रूपानें पाडा. आरशावर पडल्यावर प्रकाश कोणच्या मार्गानें जातो ते पाहा. आरसा ४५°. फिरवा. परत जाणारी किरणें आरशावरील लंबाशीं किती अंशांचा कोन करून व कोणच्या दिशेनें जातात तें पाहा. तसेंच आरशावर प्रकाश पडल्यानें खोलींतील प्रकाश वाढतो का तेंहि पाहा. आरशाचे ऐवजीं टेबलावर आतां स्वच्छ पांढरा कागद ठेवा. पूर्वीप्रमाणें प्रकाश आतां ठराविक मार्गानें जातो का ? कागदावर प्रकाश पडल्यानें खोलींतील एकंदर उजेड वाढतो का ?

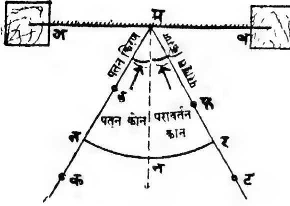
वरील प्रयोगांत तुम्हांस असें दिसेल कीं जेव्हां सूर्य प्रकाश आरशावर पडतो तेव्हां आरशाचा पृष्ठभाग गुळगुळीत व सपाट असल्यानें तो ज्या दिशेनें आरशाकडे येतो त्याच्या विरुद्ध दिशेने तो आरशावर पडून परत जातो. अशा रीतीनें तो ठराविक दिशेनें परत जात असल्यानें खोलीतील एकंदर प्रकाश वाढलेला दिसत नाहीं. पण जेव्हां तो कागदावर पडतो तेव्हां कागदाचा पृष्टभाग प्रकाशाच्या दृष्टीनें खडबडीत असल्यानें तो ठराविक दिशेनें परत न जातां सर्व बाजूस पसरतो व म्हणून खोलींत प्रकाश वाढतो.

यावरून असें दिसेल कीं प्रकाश किरणांचे वर्तन बऱ्याच अंशीं रबरी चेंडूसारखें असतें.

कोणच्याहि अपारदर्शक पदार्थावर प्रकाश पडल्यास तो परत फिरतो अथवा त्याचें परावर्तन होतें व हा परांवृत्त प्रकाश आपल्याकडे आल्यानें (अपारदर्शक) पदार्थ आपणास दिसतात.

प्रकाश परावर्तनाचे नियम.

प्रयोग २०८—चित्रफलकावर एक कागद टांचण्यांनीं घट्ट बसवा. कागदावर त्याच्या कडेस समांतर अशी ‘अब’ रेषा काढा. लांकडी ठोकळयांच्या सहाय्यानें आरसा कागदावर ठेवा. त्याचा परावर्तक पृष्ठभाग बरोबर ‘अब’ रेषेवर येईल असें करा. ‘अब’ रेषेशीं लघुकोन करील अशी एक रेषा काढा. तिचेवर ‘क’ आणि ‘ड’ या टांचण्या टोंचा. या टांचण्यांचीं प्रतिबिंबें ज्या रेषेवर दिसत असतील त्या



आकृति २१०

रेषेवर ‘ट’ आणि ‘फ’ या टांचण्या काढून घेऊन त्या ज्या बिंदूवर टोंचल्या असतील त्यांचे भोंवतीं पेन्सिलीनें लहान वर्तुळें काढा, आरसा उचलून ‘टफ’ सांधा. ‘कड’ आणि ‘टफ’ एकमेकींस मिळेतों पुढें वाढवा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं या दोन्ही रेषा ‘अब’ या रेषेस ‘म’ या एकाच बिंदूंत छेदतात. ‘म’ बिंदूपासून आरशावर—म्हणजे ‘अब’ वर—‘मन’ हा लंब काढा. $\angle$कमन व $\angle$टमन मोजा.

‘कड’ दिशेनें प्रकाश किरण येऊन तें ‘फट’ दिशेनें परत जाते म्हणून ‘कड’ ला ‘**पतन किरण**’ (incident ray) व ‘फट ला’ ‘**परावृत्त किरण**’ (reflected ray) म्हणतात. ‘मन’ ला ‘**लंब**’ (Normal), व ‘म’ या बिंदूस ‘**पतन बिंदु**’ (point of incidence), $\angle$कमन यांस **पतन कोन** (angle of incidence) व $\angle$टमन ला **परावर्तन कोन** (angle of Reflection) असें म्हणतात.

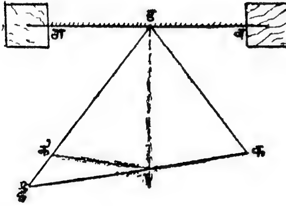
वर सांगितल्याप्रमाणें तीन वेळा प्रयोग करा. पतन आणि परावर्तन कोन मोजा; अथवा ‘म’ मध्य कल्पून वाटेल त्या त्रिज्येनें पतन किरण, लंब व परावर्तन किरण यास अनुक्रमें ‘त’ ‘न’ आणि ‘र’ या बिंदूंत छेदेल असा वर्तुल खंड काढा. ‘नत’ आणि ‘नर’ मोजा. (एकाच वर्तुळाच्या समान जीवा वर्तुल मध्याजवळ समान कोन समाविष्ट करतात.) निरीक्षणे पुढें दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

वाचन क्रमांक	पतन कोन	परावर्तन कोन	'न' आणि 'त' मधील अंतर	'न' आणि 'र' मधील अंतर
१	४०°	४०°	१·५ सें. मी.	१·५ सें. मी.

यावरून प्रकाश जेव्हां परावर्तन पावतो तेव्हां

पतन कोन = परावर्तन कोन.

प्रयोग २०९—चित्र फलकावर एक कागद घट्ट बसवून त्यावर 'अब' ही सरळ रेषा काढा. दुसऱ्या एका कागदावर |ईडक हा एक कोन काढा व तो कापा. या कोनाचा कोनबिंदु 'ड' 'अब' रेषेवर येईल अशा रीतीनें |ईडक कागदावर ठेवा. आरशाचा परावर्तक पृष्ठभाग 'अब' रेषेवर येईल अशा रीतीनें आरशाची पट्टी लांकडी ठोकळ्यांत उभी ठेवा. |ईडक या कागदी कोनास त्याचा कोनबिंदु 'ड' हलूं न देतां असा फिरवा कीं, त्याची 'ईड' बाजू आरशांत पाहिली असतां ती 'कड' या बाजूची वाढ आहे असें दिसेल. या स्थितींत कागदी कोन असतां त्याच्या दोन्ही कडा दाखविणाऱ्या रेषा फलकावरील कागदावर काढा. कागदी कोनाच्या दोन्ही बाजू एकमेकांवर येतील अशा रीतीनें त्याची घडी पाडा. ही कागदी कोनाची घडी तिची एक कड कोनाची बाजू दाखविणाऱ्या रेषेवर येईल अशी आरशाच्या खालीं ठेवा. घडीची दुसरी कड दाखविणारी रेषा खालचे कागदावर काढा. ही रेषा आरशाच्या पृष्ठभागाशीं काटकोन करते किंवा नाही हें गुण्यानें (Set Square) पाहा. याप्रमाणें निरनिराळे कोन घेऊन तीन चार वेळां प्रयोग करा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं, प्रत्येक वेळीं कोन

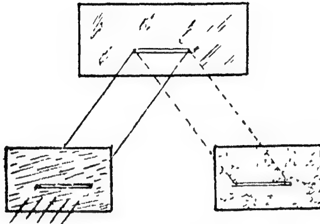


आकृति २११

दुभागणारी रेषा आरशाच्या परावर्तक पृष्ठभागाशीं काटकोन करते, म्हणजे पतन किरण व परावृत्त किरण यांचेमधील कोन दुभागणारी रेषा आरशाशीं काटकोन करते; किंवा

पतन कोन = परावर्तन कोन.

प्रयोग २१०—एका ६″ × ६″ एवढया खरडयाच्या तुकडयास ०·१ सें. मी. रुंद व ४।५ सें. मी. लांब अशी फट कापा. ह्या फटीची लांबी टेबलाच्या पृष्ठभागाशीं समांतर राहील अशा रीतीनें तो खरडयाचा तुकडा लांकडी बैठकींत बसवा. या तुकडयाच्या मागें कांहीं अंतरावर टेबलाच्या पृष्ठभागाशीं काटकोन करून एक आरसा ठेवा. टेबलापासून जेवढया उंचीवर फट आहे तेवढयाच उंचीवर तिच्यांतून जाणारीं किरणें आरशावर पडतील अशा रीतीनें सूर्यप्रकाश (आरशाच्या सहाय्यानें) त्या फटीवर पाडा. आरशावर परावर्तन पावलेल्या किरणांच्या मार्गांत घाशीव कांचेचा पडदा टेबलाशीं काटकोन करून लांकडी बैठकींत उभा धरा म्हणजे त्यावर एक आडवी प्रकाशित फट दिसेल. या फटीची टेबलाच्या पृष्ठभागापासून उंची मोजा. हा प्रयोग खरडयांतील फट टेबलापासून निरनिराळया उंचीवर ठेवून करा. खरडयांतील आडव्या फटीची टेबलापासून जेवढी उंची असते तेवढीच उंची घाशीव कांचेच्या पडद्यावरील प्रकाशित फटीची असते, असें तुम्हांस आढळून येईल.



आकृति २१२

यावरून पतन किरण, पतन बिंदूपासून आरशावर काढलेला लंब व परावृत्त किरण हीं तीन्ही एकाच पातळींत असतात असें सिद्ध होतें.

प्रकाश किरणांच्या परावर्तनाचे नियम पुढील प्रमाणें आहेत हें वर सांगितलेल्या प्रयोगांवरून सिद्ध होतें.

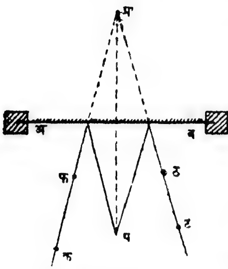
(१) पतन कोन = परावर्तन कोन.

(२) पतन किरण, पतन बिंदूपासून काढलेला लंब व परावृत्त किरण हीं तीनहि एकाच पातळींत असतात.

पदार्थ व त्याची सपाट आरशांतील प्रतिमा आरशापासून समान अंतरावर असतात:—

रीत १ ली—

प्रयोग २११—चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा व त्यावर 'अब' ही एक सरळ रेषा काढा. आरशाचा परावर्तक पृष्ठभाग या रेषेशीं जुळेल अशा रीतीनें आरसा लाकडी बैठकींत बसवा. आरशा-समोर ६ सें. मी. अंतरावर 'प' ही टांचणी टोंचा. आरशासमोर 'प' च्या डाव्या बाजूस 'क' आणि 'फ' या दोन टाचण्या अशा रोवा कीं, 'प' या टाचणीची प्रतिमा 'कफ' रेषेवर दिसेल. याचप्रमाणें 'प' च्या उजव्या बाजूसहि 'ट' आणि 'ठ' टांचण्या टोंचा. आरसा काढून घेऊन 'कफ' आणि 'टठ' सांधा व त्या 'प्र' बिंदूंत मिळे तों वाढवा. 'प' आणि 'प्र' बिंदूंचें 'अब' पासून अंतर मोजा. 'पप्र' सांधा 'अब' रेषा 'पप्र' ला काटकोन करून दुभागते कां पाहा. याप्रमाणें तीन वेळां प्रयोग करा. तुम्हास असें आढळून येईल कीं, 'अब' ही 'पप्र' ला काटकोन करून दुभागते म्हणजे 'प' आणि 'प्र' हे बिंदू आरशापासून समान अंतरावर असतात.



आकृति २१३

स्थलभेद पद्धति (Parallax method).



आ. २१४

प्रयोग २१२—फळयावर लिहिण्याचे तीन खडू घ्या. पहिल्यानें निळा, नंतर लाल व मग पिवळा या क्रमानें ते खडू टेबलावर एका सरळ रेषेंत व जवळ जवळ असे उभे करा. ते खडू ज्या रेषेवर ठेवले असतील त्या रेषेवर पिवळ्या खडूचे बाजूस कांहीं अंतरावर उभे राहून त्या खडूकडे पाहा. ते सर्व एकाच जागीं ठेवले आहेत असें तुम्हांस दिसेल. उजवीकडे वांकून पाहा. यावेळीं तांबड्या खडूच्या उजव्या बाजूस निळा व डावे बाजूस पिवळा याप्रमाणें खडू सरकलेले दिसतील; नंतर डावीकडे वांकून

पाहा. यावेळीं पिवळा खडू तांबड्या खडूच्या उजवीकडे व निळा डावीकडे याप्रमाणें खडू सरकलेले दिसतील. तांबड्या खडूच्या अलीकडे असणारा पिवळा खडू आपण ज्या बाजूनें पाहातों त्याच्या विरुद्ध बाजूस सरकलेला दिसतो व पलीकडे असणारा निळा खडू आपण ज्या बाजूनें पाहातो त्या बाजूसच सरकलेला दिसतो.

यावरून पदार्थ इच्छित स्थळीं ठेवलेला आहे किंवा नाहीं हें सहज समजतें. पदार्थ जर इच्छित स्थळीं ठेवलेला असेल तर कोणच्याहि बाजूनें पाहिल्यास तो इष्ट स्थळींच दिसतो, तो उजवीकडे अथवा डावीकडे सरकलेला दिसत नाहीं.

रीत २ री—

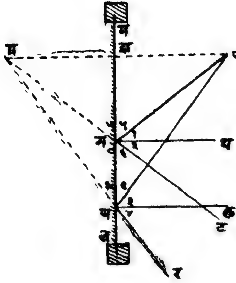
प्रयोग २१३—चित्र फलकांवर टांचण्यांच्या सहाय्यानें एक कागद घट्ट बसवा. त्याच्या एका कडेस समांतर व कागदाच्या मधोमध ' अब ' ही एक सरळ रेषा काढा. या रेषेवर ६″ × १″ अशा आरशाच्या पट्टीचा परावर्तक पृष्ठभाग येईल अशा रीतीनें आरशाची पट्टी लांकडी बैठकींत उभी ठेवा. आरशापासून सुमारें ३″ अंतरावर एक टांचणी टोंचा. तिची प्रतिमा कोठें दिसते तें पाहा. आरशाच्या मागें ज्या जागीं प्रतिमा दिसते त्या जागीं आरशापेक्षां उंच अशी एक सुई टोंचा. आरशांत दिसणारी टांचणीची प्रतिमा व आरशाचे वरून दिसणारी सुई समोरून पाहिल्यास एकाच सरळ रेषेंत येतील असें करा. किंचित् उजवीकडे वांकून पाहा. सुई जर प्रतिमेच्या उजवीकडे दिसत असेल तर ती प्रतिमेच्या मागें आहे व डावीकडे दिसत असेल तर ती पुढें आहे असें समजा. याप्रमाणें सुई पुढे मागें करून कोणच्याहि बाजूनें पाहिल्यास सुई व टांचणीची प्रतिमा एकाच जागीं दिसतील असें करा. ' अब ' पासून टांचणीचें व सुईचें अंतर मोजा. याप्रमाणें तीनदां प्रयोग करा. तुम्हांस असें आढळेल कीं, टाचणी व तिच्या प्रतिमेच्या जागीं टोंचलेली सुई या दोन्ही आरशापासून समान अंतरावर असतात. अथवा

पदार्थाचे आरशापासून अंतर = प्रतिमेचे आरशापासून अंतर.

रीत ३ री—

भूमितीनें ' प ' या प्रकाश बिंदूपासून निघणारी ' पग ' आणि 'पघ'

हीं किरणें ‘ मन ’ आरशावर ‘ ग ’ आणि ‘ घ ’ या ठिकाणीं पडतात व तेथून ‘ गट ’ आणि ‘ घर ’ या दिशांनी परावृत्त होतात. हीं परावृत्त किरणें आरशाच्या मागें वाढविल्यास ‘ प्र ’ ठिकाणीं मिळतात म्हणून ‘ प ’ या पदार्थाची प्रतिमा ‘ प्र ’ ठिकाणीं दिसते. परावर्तनाच्या नियमाप्रमाणें



आकृति २१५

∠१ = ∠२

∴ ∠५ = ∠६

∵ ∠६ = ∠७

∴ ∠५ = ∠७

∴ ∠१ + ∠२ + ∠६ = ∠८

त्याचप्रमाणें ∠९ = ∠१०

आतां त्रिकोण **पगघ** आणि **प्रगघ** यांत

∠पगघ = ∠प्रगघ

∠पघग = ∠प्रघग

व घग साधारण

∴ त्रिकोण **पगघ** = त्रिकोण **प्रगघ**

∴ पग = प्रग

‘ पप्र ’ सांधा व ती ‘ मन ’ ला ‘ श ’ बिंदूत छेदू द्या.

आता त्रिकोण **पगश** आणि **प्रगश** मध्ये

पग = प्रग

शग साधारण

∠पगश = ∠प्रगश

∴ त्रिकोण **पशग** = त्रिकोण **प्रगश**

∴ पश = प्रश

व

∠पशग = ∠प्रशग

पण हे संलग्न कोन असून यांची बेरीज दोन काटकोन आहे.

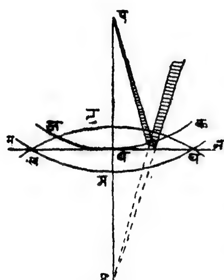
∴ $\angle$ पशग = $\angle$ प्रशग = १ काटकोन.

यावरून प्रकाश बिंदूची प्रतिमा प्रकाश बिंदूपासून आरशावर काढलेल्या लंबावर असते व प्रकाश बिंदु आरशापासून जेवढ्या अंतरावर असतो तेवढ्याच अंतरावर आरशाच्या मागें असते हें सिद्ध होतें.

---

* रीत ४ वरील नियम लहर वादानें सिद्ध करणें.

समजा 'प' या प्रकाश बिंदूपासून प्रकाशाची लाट उत्पन्न होऊन ती सर्व बाजूला पसरत आहे, व ज्या वेळीं ती 'मन' या आरशावर पडते त्यावेळीं 'अबक' हा तिचा खंड आहे. जर 'मन' आरसा त्या ठिकाणीं नसतां तर ही लाट 'खगघ' या ठिकाणीं गेली असती; पण ज्या अर्थी ती 'मन' आरशावर परावृत्त होते व ज्याअर्थी परावृत्त लाट मूळ लाटेच्याच गतीनें परतते, त्याअर्थी परावृत्त लाट 'खटघ' अशी होते, 'बट' अंतर 'बग' येवढे होते व खटघ या परावृत्त लाटेचें उगमस्थान 'प्र' होते. 'खगघ' आणि 'खटघ' हे समान वर्तुळाचे, 'खघ' ही साधारण जीवा असलेले खंड आहेत, म्हणून 'खगघ' या वर्तुळाचा मध्य 'प' हा 'खघ' पासून जितक्या अंतरावर असेल तेवढ्याच



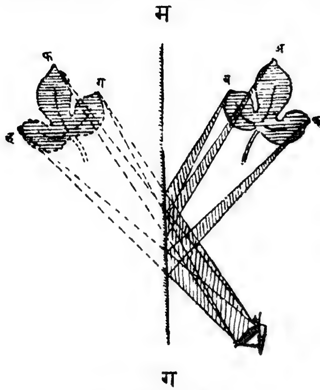
आकृति २१६

अंतरावर 'खटघ' या वर्तुळाचा मध्य 'प्र' असला पाहिजे व 'प' आणि 'प्र' ला सांधणारी रेषा 'खघ' ला काटकोन करून दुभागत असली पाहिजे. यामुळें 'खटघ' ही परावृत्त लाट ज्यावेळीं डोळ्यांत शिरते त्यावेळीं ती 'प' पासून निघत नसून 'प्र' पासून निघत आहे असा भास होतो. म्हणून 'प्र' ही 'प' ची प्रतिमा आहे.

यावरून कोणत्याहि बिंदूची सपाट आरशामधील प्रतिमा त्या बिंदूपासून आरशावर काढलेल्या लंबावर असते व पदार्थ आरशापासून जेवढ्या अंतरावर असतो तेवढ्याच अंतरावर ती आरशाच्या मागें असते, हें सहज लक्षांत येईल.

कोणत्याहि आकृतीची प्रतिमा काढणें.

ज्या अर्थी प्रत्येक प्रत्येक बिंदूची प्रतिमा त्याचेपासून आरशावर काढलेल्या लंबावर व तो आरशापासून जेवढ्या अंतरावर असतो तेवढ्याच अंतरावर आरशाच्या मागें असते, त्या अर्थी 'अबक' या आकृतीची प्रतिमा काढावयाची झाल्यास 'अ', 'ब' आणि 'क' या बिंदूपासून 'मन' आरशावर लंब पाडावे व त्या प्रत्येकाची जेवढी लांबी असेल तेवढेच ते 'फ', 'ग' आणि 'ह' पर्यंत अनुक्रमें वाढवावे. म्हणजे 'फ', 'ग' आणि 'ह' या 'अ', 'ब' आणि 'क' या बिंदूंच्या प्रतिमा मिळतील. व ते आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें सांधावे म्हणजे दिलेल्या आकृतीची प्रतिमा मिळेल.



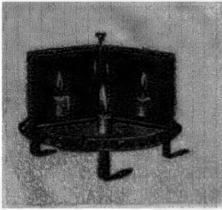
आकृति २१७

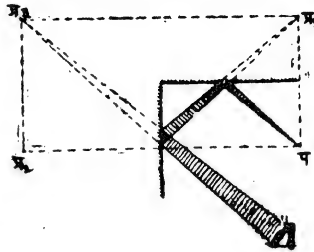
ही प्रतिमा पदार्थायेवढीच असून हिच्यांत उजव्याचे डावे व डाव्याचे उजवे याप्रमाणें बाजूंची अदलाबदल झाली आहे असें आकृतीवरून स्पष्ट दिसेल. अशा प्रकारच्या उलटण्यास '**बाजूंची उलट**' (Lateral inversion) असें म्हणतात.

दोन आरसे एकमेकांशी कोन करून ठेवले असतां त्यांत दिसणाऱ्या प्रतिमांची संख्या.

प्रयोग २१४—चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. सुमारें ६" लांब व २" रुंद अशा आरशाच्या दोन पट्ट्या घ्या. त्या एकमेकींपासून ३" अंतरावर, कागदाशीं काटकोन करून व एकमेकीस समांतर अशा उभ्या ठेवा. दोन्ही आरशांमध्यें एक लहान मेणबत्ती पेटवून ठेवा. त्या आरशांत तिच्या किती प्रतिमा दिसतात तें पाहा. त्यांत दिसणाऱ्या प्रतिमांची संख्या तुम्हांस मोजतां येते का ?

प्रयोग २१५—चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. ६″ × ६″ असें दोन आरसे घ्या. दोन्ही आरशांची एक एक कड कापडी पट्टीनें सांधा म्हणजे ते दोन्ही आरसे या पट्टीभोंवतीं फिरूं शकतील. आरशांची सांधलेली कड फळ्यास काटकोन करून राहील अशा रीतीनें ते दोन्ही आरसे एकमेकांशीं काटकोन करून लांकडी ठोकळ्यांच्या साहाय्यानें फळ्यावर उभे





आकृति २१८

ठेवा व मेणबत्त्यांच्या प्रतिमा कोठें व किती दिसतात तें पाहा. आरशांमधील कोन ६०°, ४५° आणि ३०° याप्रमाणें करा व प्रतिमा किती व कोठें दिसतात तें पाहा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

१ आरशांमधील कोन	२ प्रतिमांची संख्या	३ $\frac{३६०}{\text{आरशांमधील कोन}}$ = क्ष	४ क्ष—१
०	अगणित	अगणित	अगणित
९०	३	४	३
६०	५	६	५
४५			
३०			

वरील प्रयोगावरून असें दिसून येईल कीं, आरशांची सांधलेली कड ज्या जागीं कागदास छेदते त्या बिंदूस मध्य कल्पून त्या कडेपासून पदार्थांचे जेवढें अंतर असेल तेवढ्या त्रिज्येनें वर्तुळ काढल्यास

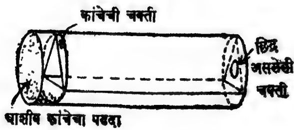
(१) या सर्व प्रतिमा त्या वर्तुळाच्या परिघावर असतात.

(२) आरशामध्यें असलेल्या कोनायेवढे वर्तुळाच्या मध्यापाशीं कोन केल्यास त्यापैकीं ज्यांत पदार्थ आहे तो सोडून बाकी प्रत्येक कोनांत एक एक प्रतिमा असते.

(३) आरशांमध्यें जितक्या अंशांचा कोन आहे तेवढ्या (अंश-दर्शक) संख्येनें ३६० ला पूर्ण भाग जात असल्यास प्रतिमांची संख्या

$$\frac{३६०}{\text{आरशांमधील कोन}} - १$$ इतकी असते.

Kaleidoscope:—दोन आरसे एकमेकांशीं कोन करून ठेवले असतां त्यांत दिसणाऱ्या प्रतिमांची संख्या वाढते या गोष्टीचा उपयोग करून **कॅलेडॉस्कोप** नांवाचें एक लहान मुलांचें खेळणें तयार केलेलें असतें. यांत सारख्या लांबी रुंदीच्या आरशाच्या तीन पट्ट्या एकमेकींशीं ६०° चा कोन करतील अशा रीतीनें एका नळींत बसविलेल्या असतात. ही नळी पट्ट्यांच्या लांबीपेक्षां थोडी मोठी असते. नळींत घट्ट बसेल अशी काचेची गोल चकती पट्ट्यांमुळें झालेल्या त्रिकोणावर बसविलेली असते. या चकतीवर निरनिराळ्या रंगाच्या कांचेचे तुकडे ठेवून नळीचें तोंड घाशीव कांचेच्या चकतीनें बंद केलेले असते. दुसरीकडील नळीचें तोंड लहान छिद्र असलेल्या खरड्याच्या किंवा टिनाच्या चकतीनें बंद केलेलें असते. घाशीव काचेची चकती उजेडाकडे करून लहान छिद्रांतून पाहिलें म्हणजे रंगीत कांचांच्या परावर्तनामुळें नळींत सुंदर सुंदर संमिताकार चित्रें दिसतात.





आकृति २१९

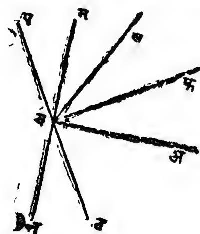
आरसा जितके अंश फिरविला असेल त्याचे दुप्पट अंश परावृत्त—किरण फिरतें.

प्रयोग २१६—चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. चित्रफलकास एक बारीक छिद्र करा. या छिद्रास मध्य कल्पून एक वर्तुळ काढा. मध्य बिंदूचे ठिकाणीं ५।५ अंशाचे कोन दाखविणाऱ्या रेषा काढा. फलकांतील छिद्रांत सहज फिरेल अशी एक सुई आरशाच्या पाठीस चिकटवा. ही सुई फलकांतील छिद्रांत घालून आरसा फळयावर उभा बसवा. आरशासमोर बारीक फट असलेला खरडयाचा तुकडा पकडींत धरा. फटींतून आरशावर सूर्य प्रकाश लंब रूपानें पाडा. तो कोणाकडे परत येतो तें पाहा. तो फटीकडेच परत येतो असें दिसेल. आरसा ५° फिरवा, परावृत्त किरण किती अंश फिरतें तें पाहा. याप्रमाणें आरसा १०°, १५°, २०° याप्रमाणें फिरवा व परावृत्त किरण किती किती अंश फिरतें तें पाहा.

निरीक्षणें पुढें दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

निरीक्षण क्रमांक	आरसा किती अंश फिरविला	परावृत्त किरण किती अंश फिरणें
१	५°	१०°
२	१०°	२०°
३	१५°	
४	२०°	

वरील निरीक्षणांवरून असें सिद्ध होतें कीं आरसा जितके अंश फिरतो त्याच्या दुप्पट अंश परावृत्त किरण फिरतें.



आकृति २२०

रीत २– 'अ ब' हें किरण 'म न' या आरशावर लंब रूपानें पडतें म्हणून तें 'बअ' मार्गानें परत जातें. आरसा 'ब' बिंदूभोंवतीं फिरवून 'पट' या स्थितींत आणल्यास तो जितके अंश फिरेल तितकेच अंश त्याचेवरील 'बफ' लंबहि फिरेल व त्यामुळें ∠अबफ हा पतन कोन होईल. परावर्तनाच्या नियमाप्रमाणें 'बख' हें परावृत्त किरण 'बफ' शीं ∠अबफ येवढा कोन करील.

∴ ∠अबख = ∠अबफ + ∠फबख

= २ ∠अबफ

= २ ∠पबम

प्रश्न संग्रह २२ वा

(१) परावर्तनाचे नियम सांगा. ते सिद्ध करण्याकरतां प्रयोग लिहा.

(२) सपाट आरशांत दिसणाऱ्या प्रतिमेचे गुण विशेष काय आहेत ?

(३) एका आरशावर ५०° चा पतन कोन करून एक किरण पडत आहे हें दाखविणारें चित्र काढा. परकारचा (compass) अथवा कोन मापकाचा उपयोग न करतां याच चित्रांत परावृत्त किरणाचा मार्ग कसा दाखवाल ?

(४) पदार्थ व त्याची सपाट आरशांत दिसणारी प्रतिमा हीं आरशा-पासून समान अंतरावर असतात हें सिद्ध करण्याकरतां प्रयोग द्या.

(५) ज्या आरशांत तुम्हीं आपली प्रतिमा पाहातां तो आरसा मागें सारल्यास तुमची प्रतिमाहि मागें सरते व आरसा जितका मागें सरला असेल त्याच्या दुप्पट प्रतिमा मागें सरते हें सिद्ध करा.

(६) पाणी संथ असतां तळ्यांतील पाण्यांत दिसणारी झाडाची प्रतिमा उलट का असते.

(७) ‘ अबकड ’ हा काटकोन चौकोन आहे. त्याची ‘ अब ’ बाजू ५″ व ‘बक’ ३″ आहे. ‘म’ या ‘ बक ’ च्या मध्यबिंदूतून जाणाऱ्या उभ्या आंसाभोंवती एक सपाट आरसा उभ्या पातळींत फिरवितां येतो. ‘ बम ’ दिशेनें पाहेाणाऱ्या माणसास ‘ अ ’ बिंदूवर उभी असलेली पेन्सिल पाहा-वयाची झाल्यास आरसा किती अंश फिरवावा लागेल? या कोनाचा व ∠अमड चा काय संबंध आहे? या सर्व गोष्टी आकृतीच्या सहाय्यानें ठरवा ?

(८) माणसास आपल्या उंचीच्या निम्मेपेक्षां कमी उंची असलेल्या उभ्या आरशांत आपली पूर्ण प्रतिमा पाहातां येणार नाहीं हें आकृति काढून सिद्ध करा. माणसाचें आरशापासून अंतर कमी जास्त झाल्यास त्यामुळें वरील विधानांत कांहीं फरक करावा लागेल का ?

(९) एकमेकांशी ७२° अंशांचा कोन करून असणाऱ्या दोन आरशांत एखाद्या पदार्थाच्या किती प्रतिमा दिसतील? त्या कोठेंकोठें दिसतील हें आकृति काढून दाखवा. दोन्ही आरशांचे मागें दिसणारी प्रतिमा ज्या किरणांमुळें तयार होते त्या किरणांचा मार्ग दाखवा.

(१०) दोन आरशांमधील कोन ६०° चा आहे. त्यांच्यामध्यें ठेवलेल्या अक्षराच्या प्रतिमा कोठें व किती दिसतील हें आकृतीच्या सहाय्यानें ठरवा. यापैकीं कोणच्या प्रतिमांत अक्षर सरळ दिसेल व कोणच्या प्रतिमांत बाजूंची उलट झाली असेल तेंहि सांगा.

(११) खंदकांतील माणसास शत्रूची हालचाल स्पष्ट दिसावी म्हणून त्याचे जवळ असलेले दोन आरसे त्यानें कसें ठेवावे.

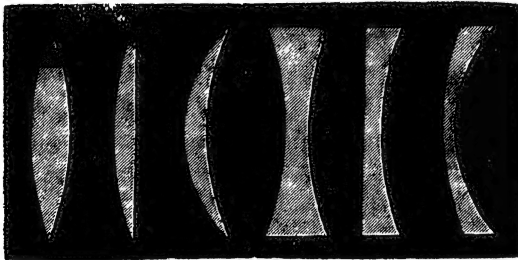


प्रकरण २३ वें.

भिंगें (Lenses)

निरनिराळ्या लोकांच्या चष्म्याचीं भिंगें, सुर्यकांतमणी अथवा महत्कारी भिंगें (Magnifying glasses) दुर्बिणींतील किंवा सूक्ष्मदर्शक यत्रांतील भिंगें, तसेंच प्रकाशलेखन यंत्रांतील (camera) भिंगें हीं बहुधा सर्वांच्या परिचयाचीं असतात. त्यांचे पृष्ठभाग बाह्यगोल (convex), अंतर्गोल (concave) किंवा सपाट (plane) असतात.हीं भिंगें मुख्यतः दोन प्रकारचीं असतात.

(१) **बाह्यगोल** (convex) आणि (२) **अंतर्गोल** (concave) बाह्यगोल भिंगें मध्यभागीं जाड अथवा फुगीर असून कडेला बारीक झालेलीं असतात. याचे उलट अंतर्गोल भिंगे मध्यभागीं बारीक अथवा खोलगट असून कडेला जाड झालेलीं असतात. प्रत्येक प्रकारच्या भिंगाचे तीन तीन पोटभेद असतात.



आकृति २२१

१ दोन्ही पृष्ठभाग बाह्यवक्र (फुगीर) (आ.१)
द्वित्तबाह्यगोल (double convex)

(१) **बाह्यगोल** २ एक पृष्ठभाग फुगीर व एक सपाट (आ.२)
समतल बाह्यगोल (plano convex)

३ एक पृष्ठभाग फुगीर व दुसरा खोलगट (आ.३)
अंतर्बाह्यगोल concavo convex)

१ दोन्ही पृष्ठभाग अंतर्वक्र (खोलगट) (आ.४)
द्विन्त अंतर्गोल (double concave)

(२) **बाह्यगोल** २ एक पृष्ठभाग अंतर्वक्र व दुसरा सपाट (आ.५)
समतल अंतर्गोल (plano concave)

३ एक पृष्ठभाग खोलगट व दुसरा फुगीर (आ.६)
बाह्यांतर्गोल (convexo concave)

भिंगाच्या वक्रपृष्ठभागांच्या वक्रतेचे मध्य सांधणाऱ्या रेषेस **मुख्य आस** म्हणतात.

* पुढील सर्व विवेचन भिंगें बारीक (thin) आहेत असें गृहीत धरून केलें आहे.

प्रयोग २१७—सूर्य किरणांच्या दिशेशीं काटकोन करून एक घाशीव कांचेचा पडदा धरा. पडद्यास समांतर राहील असें बाह्यगोल भिंग पडद्याचे अगदीं जवळ धरा. भिंग पडद्यापासून हळूहळू दूर न्या व पडद्यावरील प्रकाशित भागाचें क्षेत्रफळ कमी होतें किंवा जास्त होतें तें पाहा. त्याचें क्षेत्रफळ हळूहळू कमी होतें व शेवटीं प्रकाशित भाग अगदीं बिंदूएवढा होतो असें दिसेल. यावरून समांतर किरणें बाह्यगोल भिंगांतून जातांना आपला मार्ग बदलतात व एका बिंदूच्या ठिकाणीं केंद्रित होतात असें सिद्ध होतें. प्रकाश किरणें केंद्रित करण्याच्या गुणधर्मामुळें बाह्यगोल भिंगास **प्रकाश केंद्रित करणारें** ' अथवा ' **क्षीयमाणांतर** ' (converging lens) भिंग असें म्हणतात. ज्या बिंदूत किरणें केंद्रित होतात त्यास **केंद्र** (Focus) म्हणतात. भिंगावर पडणारीं किरणें जर मुख्य आंसास समांतर असतील तर या बिंदूस **मुख्य केंद्र** (principal focus) असें म्हणतात.

प्रयोग २१८—बाह्यगोल भिंगाचे ऐवजीं अंतर्गोल भिंग घेऊन वरील प्रयोग करा. भिंग पडद्यापासून जसजसें दूर जातें तसतसें प्रकाशित भागाचें क्षेत्रफळ कमी होतें कीं जास्त होतें तें पहा. या वेळीं भिंग पडद्या पासून जसजसें दूर जातें तसतसें प्रकाशित भागाचें क्षेत्रफळ वाढत जातें,

अथवा त्यांतून जाणारीं समांतर किरणें वर्धमानांतर होतात असें दिसेल. या गुणधर्मामुळें अंतर्गोल भिंगास '**प्रकाश फांकविणारें**' अथवा '**वर्धमानांतर भिंग**' (Diverging lens) असें म्हणतात. भिंगांतून बाहेर पडणाऱ्या किरणांचे मार्ग दाखविणाऱ्या रेषा भिंगाचे बाजूस वाढविल्यास एका बिंदूंत मिळतात. ज्या बिंदूंत या मिळतात त्यास अंतर्गोल भिंगाचें **केंद्र** म्हणतात. जर भिंगावर पडणारी किरणें त्याच्या मुख्य आंसास समांतर असतील तर या बिंदूस **मुख्य केंद्र** म्हणतात.

भिंगाच्या आंसावर असा एक बिंदू असतो कीं त्यांतून जाणारीं किरणें आपली दिशा न बदलतांच भिंगांतून बाहेर पडतात. या बिंदूस '**दर्शन मध्य**' (optical centre) असें म्हणतात. दर्शनमध्य व मुख्य केंद्र यांचेमधील अंतरास **केंद्रांतर** (Focal length) असें म्हणतात.

प्रत्येक जातीच्या भिंगास त्याच्या दर्शन मध्यापासून समान अंतरावर दोन मुख्य केंद्रें असतात.

बाह्यगोल भिंगें व खऱ्या प्रतिमा.

प्रयोग २१९—खिडकीसमोर कांहीं अंतरावर घाशीव कांचेचा पडदा धरा. खिडकी व घाशीव कांचेचा पडदा यांच्यामध्यें, पडद्याजवळ एक बाह्यगोल भिंग धरा. पडद्यावर काय काय दिसतें तें पाहा. खिडकींतून दिसणाऱ्या देखाव्याचें अस्पष्ट चित्र पडद्यावर दिसेल. भिंग पुढें किंवा मागें सरवूनक पडद्यावरील चित्र अधिक स्पष्ट दिसतें का तें पाहा. भिंग मागेंपुढें सरकविल्यास अशी एक जागा आढळेल कीं त्या जागीं भिंग ठेवलें असतां पडद्यावरील चित्र अगदीं स्पष्ट दिसेल. या स्पष्ट दिसणाऱ्या चित्रास खिडकींतून दिसणाऱ्या देखाव्याची **प्रतिमा** (Image) म्हणतात.

भिंगामुळें तयार झालेल्या प्रतिमेचें नीट निरीक्षण करा व आरशांत दिसणाऱ्या प्रतिमेशीं तिची तुलना करा.

(१) ती पदार्था येवढीच आहे का ?

(२) ती सरळ आहे का ?

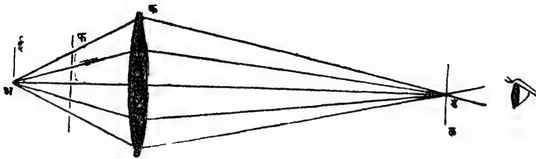
(३) प्रतिमेचें व पदार्थाचे भिंगापासूनचें अंतर सारखेच आहे क

(४) सपाट आरशांत दिसणारी प्रतिमा भिंतीवर पाडता येते का

वरीलप्रमाणें तुलना केल्यास तुम्हांस असें आढळून येईल कीं, आरशांत दिसणारी प्रतिमा पदार्थां एवढी, सरळ व आरशापासून पदार्थ जितक्या अंतरावर असेल तितक्याच अंतरावर असते; तर भिंगामुळे तयार होणारी प्रतिमा पदार्थां येवढी, सरळ व भिंगापासून पदार्थां येवढयाच अंतरावर असत नाहीं. आरशांत दिसणारी प्रतिमा पडद्यावर किंवा भिंतीवर पाडून दाखवितां येत नाहीं म्हणजे ती **भ्रामक** (virtual) असते; तर भिंगामुळें दिसणारी प्रतिमा पडद्यावर अथवा भिंतीवर पाडून दाखवितां येते म्हणजे ती **खरी** (real) असते.

भिंगामुळें प्रतिमा कशी तयार होते—

प्रयोग २२०—अंधाऱ्या खोलींत उभा प्रकाशित तंतू (Filament) असलेल्या 'अ' या विजेच्या दिव्यापुढें समांतर उभ्या फटी कापलेला 'फ' हा खरडयाचा तुकडा ठेवा. यामुळें एका बिंदूपासून निघालेलीं वर्धमानांतर अशीं वेगवेगळीं किरणें मिळतील. या किरणांच्या मार्गांत साधें बाह्यगोल भिंग न ठेवतां ज्याच्या एका सपाट पृष्ठभागास पांढरा रंग लाविलेला आहे, असें 'क' हें बाह्यगोल (convex) भिंग ठेवा. (अशा भिंगांतून जाणाऱ्या किरणाचा मार्ग स्पष्ट दिसतो.) 'क' भिंगांतून जातांना किरणें वळतात, भिंगाचे विरुद्ध बाजूस 'ड' या बिंदूकडे क्षीयमाणांतर होतात व या बिंदूपासून तीं पुन्हां वर्धमानांतर होऊं लागतात असें दिसेल. आकृतींत दाखविलेल्या जागून पाहाणाऱ्यां माणसास तीं किरणें अ पासून निघालेलीं न दिसतां 'ड' पासून निघालेलीं दिसतात, व म्हणून 'अ' दिव्यांतील उभ्या तंतूची प्रतिमा 'ड' जागीं दिसते. याप्रमाणें कोणत्याहि आकाराच्या पदार्थांची भिंगामुळें तयार झालेली प्रतिमा त्या पदार्थांच्या निरनिराळ्या बिंदूंच्या प्रतिमांची बनलेली असते.



आकृति २२२

वरील प्रयोगावरून भिंगामुळें प्रतिमा कशी तयार होते हें सहज समजेल.

वरील प्रयोगांत 'अ' हा दिवा भिंगाच्या मुख्य आंसाशीं काटकोन करणाऱ्या अई रेषेवर फिरविला तर 'अई' वरील उभ्या पातळींत असणाऱ्या पदार्थांच्या निरनिराळ्या बिंदूपासून निघणाऱ्या किरणांचे मार्ग आपणांस दिसतील. हे सर्व बिंदू अर्थातच भिंगाच्या मुख्य आंसाशीं काटकोन करणाऱ्या उभ्या पातळींतच असतील व दिवा मुख्य आंसापासून फारच थोडा हलविला असेल तर त्याच्या प्रकाशित तंतूची प्रतिमा, मुख्य आंसाशीं काटकोन करणाऱ्या डल या रेषेवर ठेवलेल्या उभ्या पडद्यावरच पडते असें दिसेल.

यावरून मुख्य आंसाशीं काटकोन करणाऱ्या पातळींत असणाऱ्या पदार्थाची प्रतिमा मुख्य आंसाशींच काटकोन करणाऱ्या दुसऱ्या पातळींत असते असें दिसतें.

दिवा जर अई रेषेवरच पण मुख्य आंसापासून जास्त लांब नेला तर त्यापासून निघालेलीं किरणें एका बिंदूंत केंद्रित होत नाहींत, व दिव्याचें मुख्य आंसापासूनचे अंतर जसजसें अधिकाधिक वाढतें तसतशी ही चूक अधिकाधिक वाढते असें दिसेल. म्हणून भिंगाच्या मुख्य आंसावर अथवा त्यापासून जवळ असलेल्या पदार्थांचीच तेवढी प्रतिमा स्पष्ट दिसूं शकते.

आरशांत दिसणारी प्रतिमा भिंतीवर किंवा पडद्यावर पाडतां येत नाहीं. पण भिंगामुळें तयार होणारी प्रतिमा भिंतींवर किंवा पडद्यावर पाडता येते ही गोष्ट आपण मागें पाहिलीच आहे. ज्या किरणांमुळें आरशांत दिसणारी प्रतिमा तयार होते तीं किरणें प्रतिमेपासून खरोखर निघत नसून ती तशी निघाल्याचा केवळ भास होतो, पण ज्या किरणांमुळें भिंतीवर प्रतिमा दिसते तीं किरणें भिंगांतून निघून खरोखरच भिंतीवर पडतात व नंतर आपल्याकडे येतात.

या दोन प्रतिमांतील भेद स्पष्टपणें लक्षांत यावा म्हणून आरशांत दिसणाऱ्या प्रतिमेस **भ्रामक प्रतिमा** (Virtual image) व भिंगामुळें भिंतीवर दिसणाऱ्या प्रतिमेस **खरी प्रतिमा** (real image) असें म्हणतात.

पदार्थ व प्रतिमा यांच्या भिंगापासूनच्या अतरांतील संबंध

प्रयोग २२१—बाह्यगोल भिंगाच्या मुख्य आंसावर व भिंगापासून सुमारें ५० सें मी. अंतरावर मागील प्रयोगांत सांगितलेला दिवा ठेवा. त्याची स्पष्ट प्रतिमा घाशीव कांचेच्या पडद्यावर पाडा व त्याचे (पडद्याचे) भिंगापासूनचें अंतर मोजा. दिवा भिंगाचे जवळ आणा. पडद्यावरील प्रतिमा स्पष्ट दिसते का पाहा. ती स्पष्ट दिसत नसल्यास ती स्पष्ट दिसण्याकरतां पडदा भिंगाजवळ अथवा भिंगापासून दूर न्या. याप्रमाणें पडदा सरकवून ज्या जागीं प्रतिमा स्पष्ट दिसेल त्या जागीं पडदा ठेवा व त्याचें भिंगापासून अंतर मोजा. हें अंतर पूर्वीच्या अंतरापेक्षां कमी आहे कीं जास्त आहे तें पाहा. याचप्रमाणें पदार्थ भिंगापासून दूर न्या व प्रतिमा स्पष्ट दिसण्याकरतां पडदा भिंगाचे जवळ आणावा लागतो किंवा दूर न्यावा लागतो तें पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं पदार्थ भिंगापासून जसजसा दूर जातो तसतशी त्याची प्रतिमा भिंगाच्या जवळ जवळ येते व जसजसा तो पदार्थ (विशिष्ट मर्यादेपर्यंत) जवळ जवळ येतो तसतशी त्याची प्रतिमा भिंगापासून दूरदूर जाते.

पदार्थ व प्रतिमा यांच्या भिंगापासूनच्या अंतरांत असणारा हा संबंध नियमानें व्यक्त करण्यापूर्वी हीं अंतरें कोठून व कशीं मोजावयाची हें ठरविणें अवश्य आहे.

(१) सर्व अंतरें नेहमीं भिंगाच्या दर्शन मध्यापासून मोजलीं पाहिजेत.

(२) किरणें प्रत्यक्ष ज्या मार्गानें जात असतील त्या मार्गावरून मोजलेलीं अंतरें धन व ज्या मार्गावरून किरणें जातात असा भास होतो त्या मार्गावरून मोजलेलीं अंतरें ऋण समजावीं. या नियमाप्रमाणें खऱ्या प्रतिमेचें भिंगापासूनचें अंतर धन व भ्रामक प्रतिमेचें अंतर ऋण असतें.

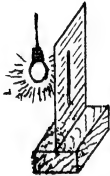
याप्रमाणें अंतरें धन अथवा ऋण ठरविण्याचा अलीकडे नवीन प्रघात पडला आहे. हा प्रघात Physical Society च्या Report on the teaching of geometrical optics (१९३४) मध्यें सुचविलेला असून तो आतां सर्व मान्य झालेला आहे.

टीप—जुना प्रघात—प्रकाश ज्या दिशेनें जातो त्या दिशेनें मोजलेलीं सर्व अंतरें ऋण व त्याच्या विरुद्ध दिशेनें मोजलेलीं अंतरें धन समजावीं.

मागील प्रयोगांत असें समजा कीं पदार्थ भिंगापासून ७५ सें. मी. अंतरावर असतां त्याची प्रतिमा भिंगाच्या मागें १० सें. मी. अंतरावर पडते. या प्रयोगांत पदार्थापासून निघालेलीं किरणें भिंगांत शिरतात व पुढें त्याच मार्गानें खरोखरच प्रतिमेपर्यंत जातात म्हणून प्रतिमेचे १० सें. मी. हें अंतर धन व पदार्थापासून किरणें प्रत्यक्षच येत असल्यानें पदार्थाचें अंतरहि धन समजावें. पदार्थाचें अंतर **प** व प्रतिमेचें अंतर प्र असेल तर

प = + ७५ सें. मी. व प्र = + १० सें. मी. असें मानावें.

प्रयोग २२२—एका तेजस्वी दिव्यासमोर एक बारीक फट कापलेला पडदा ठेवा. या फटीपुढें एक भिंग ठेवा. भिंगाचा मध्य, फटीच्या मध्यासमोर येईल अशा रीतीनें भिंगाची उंची कमी जास्त करा. भिंगाचे दुसरे बाजूस एक घाशीव कांचेचा पडदा ठेवा. फटीची स्पष्ट प्रतिमा दिसण्याकरतां पडदा मागें पुढें सरकवा. भिंगाचे मध्यापासून फटीचें व तिच्या प्रतिमेचे अंतर मोजा. हाच प्रयोग भिंग फटीपासून निरनिराळ्या अंतरावर ठेवून करा. तसेंच हा प्रयोग निरनिराळीं भिंगें घेऊन करा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.





आकृति २२३

भिंगांचा क्रमांक	प (u)	प्र (v)	$\frac{1}{प}$ $(\frac{1}{u})$	$\frac{1}{प्र}$ $(\frac{1}{v})$	$\frac{1}{प्र} + \frac{1}{प}$

वरील कोष्टकावरून दिसून येईल कीं, दिलेल्या भिंगाकरतां

$$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \text{ध्रुव संख्या.}$$

या ध्रुव संख्येस **भिंगाची शक्ति** (power) म्हणतात.

प्रयोग २२३—भिंगापुढें कांही अंतरावर पदार्थ ठेवून त्याची प्रतिमा कोठें पडतें तें पाहा. नंतर ज्या जागीं पहिल्यानें प्रतिमा पडत होती त्या जागीं पदार्थ ठेवा व प्रतिमेची जागा निश्चित करा. ही प्रतिमा पूर्वी ज्या जागीं पदार्थ ठेवला होता त्या जागीं दिसते असें आढळेल. पदार्थ निरनिराळ्या अंतरावर ठेवून हाच प्रयोग करा. तुम्हांस असें दिसेल कीं पदार्थ जर प्रतिमेच्या जागीं ठेवला तर प्रतिमा पदार्थाच्या जागीं येतें. ही गोष्ट वरील प्रयोगांतील सूत्रावरून ($\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \text{ध्रुव}$) सहज लक्षांत येईल. जेव्हां भिंग न हालवितां पदार्थ व त्याची प्रतिमा यांच्या जागांची अदलाबदल करतां येते तेव्हां पदार्थ व त्याची प्रतिमा ज्या बिंदूवर असतील त्या बिंदूंना **संबद्ध केंद्रें** अथवा **संयोगी केंद्रें** (Gonjugate foci) म्हणतात. हे बिंदू प्रतिमा जेव्हां खरी असते तेव्हांच मिळूं शकतात.

$$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \text{ध्रुव संख्या} = \text{फ} \; (F) \; \text{भिंगाची शक्ति.}$$

भिंगाची शक्ति व भिंगापासून पदार्थाचें अंतर माहीत असल्यास, वरील सूत्रावरून पदार्थाची प्रतिमा कोठें पडेल हें ठरवितां येतें.

सूर्यापासून किंवा अनंत अंतरावर असणाऱ्या पदार्थापासून निघालेलीं किरणें भिंगांतून गेल्यावर केंद्रावर केंद्रित होतात. म्हणजे सूर्याची प्रतिमा केंद्रावर पडते. म्हणून ज्या वेळीं

$$\text{प} = \infty \quad \text{तेव्हां प्र} = \text{केंद्रांतर} \; (f)$$

$$\therefore \frac{१}{के} + \frac{१}{\infty} = \text{फ}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{१}{के} + ० = \text{फ}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{१}{\text{के}} = \text{फ किंवा} \quad \frac{१}{\text{फ}} = \text{के}$$

यावरून बाह्यगोल भिंगाची शक्ति = $\frac{१}{\text{के}}$

$$\therefore \frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \text{फ} \text{ या सूत्राचें रूपांतर}$$

$$\frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}} \text{ असें होतें.}$$

जुना प्रघातः—

अंतरांच्या चिन्हांचा विचार केल्यास

$$\frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}} \text{ हें सूत्र}$$

$$\frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}} \text{ असें होतें}$$

आपणास मागें असें आढळून आलें आहे कीं, पदार्थ जसजसा भिंगाचे जवळ जवळ आणावा तसतशी त्याची प्रतिमा लांब लांब जाते, म्हणजे भिंगातून जाणारीं किरणें हळूहळू समांतर होतात. समांतर किरणें एकमेकांस अनंत अंतरावर मिळतात असें मानल्यास ज्यावेळीं प्रतिमा अनंत अंतरावर पडते त्यावेळीं

$$\frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}} \text{ हें सूत्र } \frac{१}{\infty} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}} \text{ असें होतें.}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$$

$$\text{अथवा} \quad \text{प} = \text{के}$$

मुख्य केंद्रांतून मुख्य आंसास काटकोन करून काढलेल्या पातळीस **केंद्रीय पातळी** (Focal plane) म्हणतात.

केंद्रीय पातळींत व भिंगाचे मुख्य आंसाजवळ ठेवलेल्या पदार्थांची प्रतिमा अनंत अंतरावर पडते. अथवा केंद्रीय पातळींत व मुख्य आंसाजवळ असणाऱ्या कोणत्याहि बिंदूपासून निघालेलीं किरणें समांतर असतात. म्हणून समांतर किरणें मिळविण्याकरतां प्रकाशदायी बिंदू (Source of light) भिंगाच्या केंद्रावर ठेवला पाहिजे.

वरील विवेचनावरून असें दिसून येईल कीं, बाह्यगोल भिंगाच्या मुख्य आंसाजवळून येणारीं किरणें भिंगांतून गेल्यामुळें आपली दिशा बदलतात. तीं जर

(१) मुख्य आंसास समांतर असतील तर भिंगामुळें तीं मुख्य केंद्रांतून जातात.

(२) मुख्य केंद्रांतून जात असतील तर भिंगामुळें तीं मुख्य आंसास समांतर होतात.

तसेंच दर्शनमध्याच्या व्याख्येप्रमाणें.

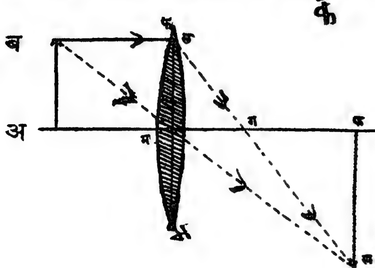
(३) दर्शन मध्यांतून जात असतील तर तीं आपली दिशा न बदलतांच भिंगांतून पुढें जातात.

वरील निरीक्षणांच्या सहाय्यानें भिंगापुढें ठेवलेल्या पदार्थांची प्रतिमा कोठें व कशी पडेल हें आकृति काढून ठरवितां येतें.

आकृतीच्या सहाय्यानें प्रतिमेची जागा व प्रकार ठरविणें.

समजा ‘अब’ हा पदार्थ ‘फभ’ या भिंगाच्या ‘अख’ या मुख्य आंसावर आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें ठेवला आहे.

‘ब’ पासून निघालेलें व ‘अख’ या मुख्य आंसास समांतर असलेलें ‘बल’ हें किरण भिंगांतून गेल्यावर ‘ग’ या मुख्य केंद्रांतून जाईल व त्याचा मार्ग ‘लग’ या रेषेनें दर्शवितां येईल. तसेंच ब पासून निघालेलें व‘म’ या दर्शनमध्यांतून जाणारें किरण आपली दिशा न बदलतांच भिंगांतून पुढें जाईल म्हणून त्याचा मार्ग ‘बम’ रेषेनें



आकृति २२४

दर्शवितां येईल. या दोन रेषा 'लग' व 'बम' पुढें वाढविल्यास 'क' बिंदूत छेदतात म्हणून 'ब' बिंदूची प्रतिमा 'क' जागीं तयार होईल. याच प्रमाणें रचना करून 'अब' या पदार्थाची प्रतिमा 'खक' आहे असें दाखविता येईल.

भिंगाचें सूत्र भूमितीनें सिद्ध करणें.

समजा 'अब' हा पदार्थ भिंगाच्या मुख्य आंसाजवळ असून त्याची 'खक' ही प्रतिमा आहे. 'बम' हें भिंगाच्या मध्यांतून जाणारें किरण आहे. तसेंच 'बल' हें मुख्य आंसास समांतर किरण असून तें भिंगातून गेल्यावर 'ग' या केंद्रांतून जात आहे.

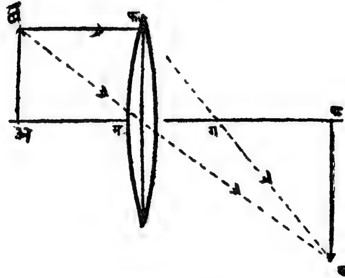
समजा मअ = प; मख = प्र आणि मग = के.

त्रिकोण बअम आणि कखम मध्यें

∠बमअ = ∠कमख (विरुद्ध कोन

∠बअम = ∠कखम काटकोन

∴ त्रिकोण 'बअम' आणि 'कखम' हे सदृश आहेत.



आकृति २२५

$$\therefore \frac{\text{बअ}}{\text{कख}} = \frac{\text{मअ}}{\text{मख}}$$

त्याचप्रमाणें त्रिकोण 'लमग' आणि 'कखग' हे सदृश आहेत.

$$\therefore \quad \frac{\text{लम}}{\text{कख}} = \frac{\text{मग}}{\text{खग}}$$

$$\because \quad \text{बअ} = \text{लम}$$

$$\therefore \quad \frac{\text{मअ}}{\text{मख}} = \frac{\text{मग}}{\text{खग}}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{\text{प}}{\text{प्र}} = \frac{\text{के}}{\text{प्र}-\text{के}}$$

$$\text{अथवा} \quad \text{प}\cdot\text{प्र} - \text{प}\cdot\text{के} = \text{प्रके}$$

$$\text{,,} \quad \text{प}\cdot\text{प्र} = \text{प्र}\cdot\text{के} + \text{प}\cdot\text{के}$$

समीकरणाच्या दोन्ही बाजूंस प· प्र· के, नें भागून

$$\frac{१}{\text{के}} = \frac{१}{\text{प}} + \frac{१}{\text{प्र}}$$

'अम' हें पदार्थाचें अंतर, 'खम' हें प्रतिमेचें अंतर व 'गम' हें केंद्रांतर हीं सर्व अंतरें प्रत्यक्ष जाणाऱ्या किरणांच्या मार्गांवरच मोजलीं असल्यामुळें धन आहेत.

$\therefore$ भिंगाचें सूत्र $\frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$ हें आहे.

महत्कारी शक्ति (Magnifying power)

$\frac{\text{प्रतिमेची लांबी}}{\text{पदार्थाची लांबी}}$ या गुणोत्तरास भिंगाची **महत्कारी शक्ति** म्हणतात.

$$\text{महत्कारी शक्ति (म)} = \frac{\text{प्रतिमेची लांबी}}{\text{पदार्थाची लांबी}} = \frac{\text{कख}}{\text{बअ}}$$

$\therefore$ त्रिकोण **बअम** आणि **कखम** सदृश आहेत

$$\therefore \quad \frac{\text{कख}}{\text{बअ}} = \frac{\text{मख}}{\text{मअ}}$$

$$\therefore \text{म} = \frac{\text{मख}}{\text{मअ}} = \frac{\text{प्रतिमेचें अंतर}}{\text{पदार्थाचें अंतर}}$$



$\therefore$ मख = + प्र आणि मअ = प

$$\therefore \text{म} = \frac{+\text{प्र}}{\text{प}}$$

$\therefore$ महत्कारी शक्ति धन आहे व प्रतिमा उलट आहे.

बाह्यगोल भिंगाची शक्ति (power of the lens) धन असते. या करतां बाह्यगोल भिंगास **धनभिंग** (positive lens) म्हणतात. याच प्रकारची भिंगे साधारणत: चाळीशी उलटलेल्या माणसांस लागत असल्यानें त्यांच्या चष्म्याच्या भिंगाची शक्ति दाखविणारे आंकडे धन संख्येनें दर्शवितात.

---

* जुना प्रघात:—खरी प्रतिमा भिंगाच्या ज्या बाजूस पदार्थ असतो त्याच्या विरुद्ध बाजूस तयार होत असल्यानें, भिंगापासून प्रतिमेचें अंतर प्रकाश ज्या दिशेनें जातो त्याच दिशेनें मोजावें लागतें. म्हणून खऱ्या प्रतिमेच्या वेळीं प्रतिमेचें ' प्र ' हें अंतर ऋण असतें. याच कारणास्तव बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतरहि ऋणच असतें.

$$\therefore \quad \frac{१}{-\text{के}} = \frac{१}{\text{प}} + \frac{१}{-\text{प्र}}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$$

$$\text{पण} \quad \frac{१}{\text{के}} = \text{फ} \; (F)$$

$$\therefore \quad \frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \text{फ}$$

बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर ऋण असल्यानें फ ही भिंगाची शक्तीहि ऋणच असते.

आकृतींत दाखविल्या प्रमाणें प हे धन व प्र हे ऋण आहे.

$\therefore$ महत्कारी शक्ति ऋण आहे व प्रतिमा उलटी आहे.

भिंगाची शक्ति ज्या मापानें मोजतात त्यास डायऑप्टर (dioptre) असें म्हणतात. ज्या भिंगाचें केंद्रांतर के हें एक मीटर असतें, त्या भिंगाच्या शक्तीस डायऑप्टर म्हणतात.

केंद्रांतर जर मीटरमध्यें मोजलें असेल तर भिंगाची शक्ति

$$\text{फ} = \frac{1}{\text{के}} \text{ डायऑप्टर्स.}$$

उदाहरणार्थ—

ज्या भिंगाचें केंद्रांतर २० सें. मी. (·२ मीटर) आहे त्याची शक्ति

$$\frac{1}{\cdot 2} = 5 \text{ डायऑप्टर्स असते.}$$

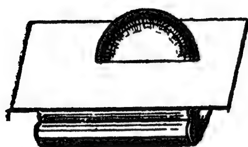
प्रयोग शाळेंत अंतरें नेहमीं सें. मी. मध्यें मोजत असल्यानें केंद्रांतरहि सें. मी. मध्येंच मोजतात म्हणून

$$\text{भिंगाची शक्ति} = \frac{1}{\text{सें. मी. मध्यें मोजलेलें केंद्रांतर}} \times 100 \text{ डाय ऑप्टर्स.}$$

बाह्यगोल भिंग व भ्रामक प्रतिमा.

भिंगाचे जवळ एका विशिष्ट मर्यादेपर्यंतच पदार्थ आणला तर त्याची प्रतिमा भिंगापासून दूरदूर जाते असें आपण मागें पाहिलें आहे; पण त्या विशिष्ट मर्यादेपेक्षांहि जवळ पदार्थ आणल्यास काय होतें हें आतां ठरवावयाचें आहे.

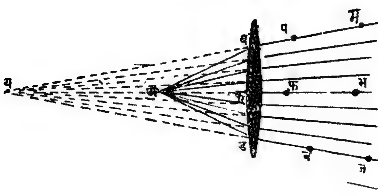
प्रयोग २२४—भिंगाच्या मध्याच्या उंचीपर्यंत बरोबर येतील इतक्या जाडीचीं पुस्तकें भिंगाच्या दोन्ही अंगांस लागून ठेवा. भिंगाच्या छेदाच्या (Section) च्या आकाराचें छिद्र एका खरडयास पाडा. दोन्ही बाजूंच्या पुस्तकावर हा खरडा ठेवा व त्यांत केलेल्या छिद्रांत भिंग ठेवा. खरडयावर भिंगाचा मुख्य आंस दर्शविणारी रेषा काढा.



आकृति २२६

भिंगाच्या मुख्य आंसावर केंद्रांतरापेक्षां कमी अंतरावर **अ** हा एक बिंदु घ्या. त्यापासून भिंगाकडे येणाऱ्या **अब**, **अक** आणि **अड** अशा रेषा काढा. **अब** रेषेवर दोन टांचण्या टोंचा. भिंगाच्या दुसऱ्या बाजूनें पाहून या टांचण्यांच्या प्रतिमांच्या सरळ रेषेंत भिंगाचे दुसरे बाजूस **प** आणि **म**

या आणखी दोन टांचण्या टोंचा. **प** आणि **म** या मागाहून टोंचलेल्या टांचण्यामुळें होणाऱ्या खुणा सांधा व **पम** रेषा भिंगास मिळे तों वाढवा, म्हणजे **अब** दिशेनें येणाऱ्या किरणाचा भिंगातून बाहेर पडल्यानंतरचा मार्ग दिसेल. याचप्रमाणें **अक**



आकृति २२७

आणि **अड** दिशांनीं येणाऱ्या किरणांचे भिंगातून बाहेर पडल्यानंतरचे मार्ग **फभ** आणि **चज** ठरवा. या रेषा **म–प, भ–फ** आणि **ज–च** या दिशांनीं वाढविल्यास एखाद्या बिंदूत छेदतात का पाहा. भिंग काढून घेऊन या रेषा **म–प, भ–फ,** आणि **ज–च** या दिशांनीं वाढविल्यास त्या **य** या एका बिंदूत छेदतात असें दिसेल. म्हणून भिंगांतून **अ** कडे पाहाणाऱ्या माणसास **अ** पासून खरोखर निघालेलीं किरणें **अ** पासून निघालेलीं न दिसतां **य** पासून निघालीं आहेत असा भास होतो. म्हणून **य** ही **अ** बिंदूची भ्रामक प्रतिमा आहे.

प्रयोग २२५—अंधाऱ्या खोलींत उभा प्रकाशित तंतू असलेला **अ** ह्या विजेच्या दिव्यापुढे उभ्या समांतर फटी कापलेला **ब** हा खरडा ठेवा. खरड्यांतून जाणाऱ्या प्रकाश किरणाच्या मार्गांत **क** हें दंडगोलाकृति बाह्यगोल भिंग ठेवा. त्याचें **अ** दिव्यापासूनचें अंतर त्याच्या केंद्रांतरापेक्षां कमी होईल असें करा. भिंगांतून बाहेर पडणारीं किरणें पूर्वीप्रमाणें क्षीयमाणांतर होतात किंवा नाहीं तें पाहा. तीं क्षीयमाणांतर होत नसून आरशावर परावर्तन पावलेलीं किरणें जशीं वर्धमानांतर होतात तशीं वर्धमानांतर होतात असें आढळून येईल. अर्थातच आरशाप्रमाणें, भिंगामुळें तयार होणारी **अ** ह्या दिव्याची प्रतिमा, या किरणांचे मार्ग दाखविणाऱ्या रेषा भिंगाचे मागचे बाजूस वाढवून मिळेल. किरणें भिंगांतून गेल्यावर, भिंगाचे मागचे बाजूस दाखविलेल्या मार्गानें खरोखर जात नसल्यानें, ही जी प्रतिमा मिळेल ती आरशांतल्या प्रतिमेप्रमाणें **भ्रामक** (Virtual) असेल.

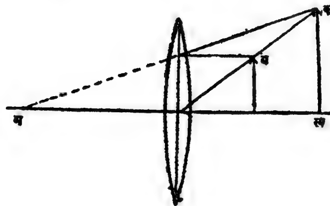
भ्रामक (Virtual) प्रतिमा पडद्यावर घेतां येत नसल्यानें त्यांची जागा स्थलभेदपद्धतीनेंच ठरवावी लागते.

प्रयोग २२६—भिंगाचे एका बाजूसच पदार्थ व एक मोजपट्टी (उभी) ठेवा. मोजपट्टीचें भिंगापासूनचें अंतर सुमारें २५ सें. मी. असूं द्या. भिंगाचे अगदी जवळून, भिंगातून डाव्या डोळ्यानें पदार्थ, व भिंगाच्या बाजूनें उजव्या डोळ्यानें मोजपट्टी पाहा. किंचित वांकून पाहून पदार्थ व मोजपट्टी यांच्यांत स्थलभेद (Parallax) आहे कीं नाहीं तें ठरवा. पदार्थ पुढें मागें सरकवून पदार्थ व मोजपट्टी कोठूनहि पाहिली तरी एकाच जागीं दिसतील असें करा. यावेळीं मोजपट्टीवर पदार्थाची प्रतिमा असेल. भिंगापासून मोजपट्टीचें नक्की अंतर मोजा म्हणजे प्रतिमेचे अंतर समजेल.

प्रतिमा भ्रामक असतां भिंगाचें सूत्र सिद्ध करणें.

समजा **अब** या पदार्थाची **खक** ही भ्रामक प्रतिमा आहे.

समजा **मअ** = प; मख = प्र आणि मग = के.



आकृति २२८

त्रिकोण **बअम** आणि **कखम** हे सदृश आहेत.

$$\therefore \frac{\text{बअ}}{\text{कख}} = \frac{\text{मअ}}{\text{मख}} \quad \text{आणि}$$

त्रिकोण **लमग** व **कखग** सदृश

$$\therefore \frac{\text{लम}}{\text{कख}} = \frac{\text{मग}}{\text{खग}}$$

पण लम = बअ

$$\therefore \frac{मअ}{मख} = \frac{मग}{खग}$$

$$अथवा \frac{प}{प्र} = \frac{के}{के+प्र}$$

$$अथवा\ के\ (प - प्र) = - प.\ प्र.$$

समीकरणाच्या दोन्हीं बाजूस प. प्र. के. ने भागून

$$\frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = - \frac{१}{के}$$

बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर धन असतें व भ्रामक प्रतिमा ज्या किरणांमुळें तयार होते तीं किरणें खरोखरच त्या मार्गानें जात नसल्यानें प्र हें प्रतिमेचें अंतरहि ऋण असतें.

$$\therefore \frac{१}{-प्र} - \frac{१}{प} = - \frac{१}{के}$$

$$हें\ सूत्र - \frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = - \frac{१}{के}\ असें\ होतें.$$

$$अथवा \quad \frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}\ असें\ होतें.$$

जुना प्रघातः—बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर ऋण असतें व भ्रामक प्रतिमेचें अंतर 'प' प्रकाश ज्या दिशेनें येतो त्याच्या विरुद्ध दिशेनें मोजलेलें असल्यामुळें धन असतें.

$$\therefore \frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = - \frac{१}{के}$$

$$हें\ सूत्र \frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = \frac{१}{के}\ असें\ होतें.$$

बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर काढण्याच्या रीती.

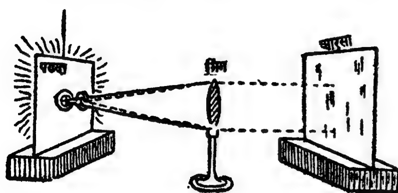
(१) दूरच्या पदार्थाच्या प्रतिमेची जागा निश्चित करून.

प्रयोग २२७—सूर्य किरणांशीं काटकोन करून एक पडदा ठेवा. पडद्याजवळ व पडद्यास समांतर एक भिंग ठेवा. सूर्याची स्पष्ट प्रतिमा दिसेतों भिंग पडद्यापासून दूर दूर न्या. भिंगापासून पडद्याचें अंतर मोजा म्हणजे केंद्रांतर मिळेल.

(२) सूत्राच्या सहाय्यानें.

प्रयोग २२८—अंधाऱ्या खोलींत आधारावर भिंग ठेवा. त्याच्या एका अंगास कांहीं अंतरावर पेटविलेली मेणबत्ती व दुसऱ्या अगास घाशीव कांचेचा पडदा टेवा. मेणबत्तीची स्पष्ट प्रतिमा दिसेतों पडदा पुढे किंवा मागें सरकवा. पदार्थाचें व प्रतिमेचें भिंगापासून अंतर मोजा व $\frac{१}{प्र}+\frac{१}{प}=\frac{१}{के}$ या सूत्राच्या सहाय्यानें केंद्रांतर ठरवा. (प आणि प्र च्या किंमती त्यांच्या योग्य चिन्हासह उपयोगांत आणा.) हाच प्रयोग दोन तीन वेळा करून सरासरी काढा व केंद्रांतर ठरवा.

(३) भिंगाच्या आंसाशीं काटकोन करून जर एक सपाट आरसा ठेवला व भिंगाच्या केंद्रीय पातळींत जर टांचणी रोंवली तर तिची प्रतिमा आरशावर परावर्तन पावलेल्या किरणांमुळें—केंद्रीय पातळींतच म्हणजे तिच्या शेजारीच पडेल. टांचणीचें डोकें मुख्य केंद्रावर असेल तर तेथून निघणारीं किरणें भिंगांतून गेल्यावर त्याच्या मुख्य आंसास समांतर होतील. हीं किरणें आरशावर लंब रूपानें पडत असल्यानें आलेल्या मार्गानेंच परत जातील व भिंगांतून गेल्यावर पुनः मुख्य केंद्रावर केंद्रित होतील. अथवा टांचणीच्या डोक्याची प्रतिमा टांचणीच्या डोक्यावरच म्हणजे केंद्रावर पडेल.



आकृति २२९

प्रयोग २२९— एका खरड्याच्या चौकोनी तुकड्यास मध्यमागीं एक लहान गोल छिद्र पाडा. छिद्राच्या एकमेकाशीं काटकोन करणाऱ्या व्यासावर दोन केस चिकटवा. छिद्राच्यामागें

एक तेजस्वी दिवा व त्याच्यापुढें एक बाह्यगोल भिंग ठेवा. छिद्राचा मध्य व भिंगाचा मध्य एका उंचीवर राहतील अशी योजना करा. हे दोन मध्य साधा. मध्य सांधणाऱ्या रेषेशीं (भिंगाच्या मुख्य आंसाशी) काटकोन करून एक आरसा ठेवा. आरसा व खरडा यांच्यामध्यें भिंग पुढें किंवा मागें सरकावून खरडयांतील छिद्राची प्रतिमा खरडयावर छिद्राचे शेजारीच पाडा. भिंग व खरडा याचेमधील अंतर मोजा. हेंच भिंगाचें केंद्रांतर असेल.

पुढील कोष्टकांत बाह्यगोल भिंगापासून निरनिराळ्या अंतरावर पदार्थ ठेवला असतां त्याची प्रतिमा कोठे व कशी पडते हें दाखविलें आहे.

पदार्थाची जागा	प्रतिमेची जागा	प्रतिमेचा प्रकार		
∞ – २के यांच्या मध्यें	के – २ के यांच्यामध्यें पदार्थाच्या विरुद्ध बाजूस	उलटी	खरी	लहान
२के	२ के	उलटी	खरी	तेवढीच
२के – ते – के	२ के – ते – ∞ पदार्थाच्या विरुद्ध बाजूस	उलटी	खरी	मोटी
के आणि भिंगाचा मध्य यांच्यामध्यें	पदार्थाच्या बाजूस –∞ पासून भिंगाचे मध्यापर्यंत	सरळ	भ्रामक	मोटी

अंतर्गोल भिंगें व त्यामुळें दिसणाऱ्या प्रतिमा.

मागें आपण असें पाहिलें आहे कीं सूर्यासारख्या अनंत अंतरावर असणाऱ्या पदार्थापासून येणारीं किरणें या भिंगांतून गेल्यावर वर्धमानांतर होतात व त्यामुळें तीं भिंगाचे मागचे बाजूस असणाऱ्या एका बिंदूपासून निघाल्याचा भास होतो. हीं किरणें भिंगाच्या मुख्य आंसास समांतर असतांना तीं ज्या बिंदूतून निघत आहेत असा भास होतो त्या बिंदूस मुख्य केंद्र म्हणतात व त्या ठिकाणीं सूर्याची भ्रामक प्रतिमा दिसते.

प्रयोग २३०—अंधाऱ्या खोलींत, उभा प्रकाशित तंतू असलेल्या विजेच्या दिव्यापुढें उभ्या समांतर फटी कापलेला खरडयाचा तुकडा ठेवा,

म्हणजे एका बिंदूपासून निघालेलीं वर्धमानांतर अशीं वेगवेगळीं किरणें मिळतील. या किरणांच्या मार्गांत अंतर्गोल भिंग ठेवा. हीं किरणें भिंगांतून गेल्यावर वर्धमानांतर होतात व दिव्याची प्रतिमा दिव्याचेच बाजूस असते असें दिसेल. दिव्याचें भिंगापासूनचें अंतर कमी जास्त करा व प्रतिमेच्या जागेंत काय फरक होतो तो पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं प्रत्येक वेळीं प्रतिमेचें भिंगापासूनचें अंतर पदार्थाच्या भिंगापासूनच्या अंतरापेक्षां कमी असतें. दिवा व भिंग यांच्या मधील पडदा काढून टाकून हा प्रयोग केल्यास तुम्हांस असें दिसेल कीं दिव्याची प्रतिमा नेहमींच भ्रामक, त्याचेपेक्षां लहान व सरळ असते व जसजसें त्याचें भिंगापासूनचें अंतरहि कमी कमी होतें तसतसें प्रतिमेचें अंतरहि कमी कमी होतें व प्रतिमा मोठी मोठी होते.

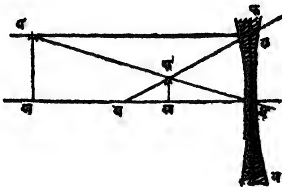
वरील प्रयोगांतील उपकरणांच्या साहाय्यानें आपणास असें दाखवितां येईल कीं या भिंगाचे बाबतींतहि

(१) दर्शनमध्यांतून जाणारें किरण आपली दिशा न बदलतांच पुढे जातें.

(२) मुख्य आंसास समांतर असणारीं किरणें भिंगांतून पाहिल्यास मुख्य केंद्रांतून निघत आहेत असा भास होतो.

(३) मुख्य केंद्राकडे भिंगांतून पाहिल्यास केंद्रापासून निघणारीं किरणें मुख्य आंसास समांतर आहेत असा भास होतो.

या भिंगाचे बाबतींतहि $\frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ हें सूत्र लागू पडतें.



आकृति २३०

या आकृतींत ‘अब’ पदार्थाची ‘खक’ ही प्रतिमा आहे. ‘मअ’ हा मुख्य आंस असून ‘ग’ हें मुख्य केंद्र आहे. समजा मअ = प; मख = प्र; आणि मग = के

त्रिकोण बअम आणि कखम सदृश

$$\therefore \quad \frac{\text{बअ}}{\text{कख}} = \frac{\text{मअ}}{\text{मख}}$$

तसेंच त्रिकोण लमग आणि कखग सदृश

$$\therefore \quad \frac{\text{लम}}{\text{कख}} = \frac{\text{मग}}{\text{खग}}$$

$$\therefore \quad \text{बअ} = \text{लम}$$

$$\therefore \quad \frac{\text{मअ}}{\text{मख}} = \frac{\text{मग}}{\text{खग}}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{\text{प}}{\text{प्र}} = \frac{\text{के}}{\text{के} - \text{प्र}}$$

अथवा $\text{के.प} - \text{केप्र} = \text{प.प्र}$ प. प्र. के नें भागून

$$\text{अथवा} \quad \frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$$

अंतर्गोल भिंगाचें केंद्रांतर ऋण असतें व प्रतिमा भ्रामक असल्यानें प्रतिमेचें अंतर ' प्र ' हेंहि ऋण असतें.

$$\therefore \quad \frac{१}{-\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{-\text{के}}$$

$$\text{अथवा} \quad \frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \text{के}$$

याची महत्कारी शक्तीहि बाह्यगोल भिंगाप्रमाणें $\text{म} = \frac{\text{प्र}}{\text{प}}$ याच सूत्रानें दाखविली जाते. या ठिकाणीं प्रतिमा भ्रामक असल्यानें प्रतिमेचें अंतर नेहमीं ऋण असतें, म्हणून महत्कारी शक्ति दर्शविणाऱ्या गुणोत्तरांची किंमत नेहमीं ऋण असते व प्रतिमा सरळ असते.

अंतर्गोल भिंगांचें केंद्रांतर ठरविण्याच्या रीती.

रीत १ लीः

प्रयोग २३१—दिलेल्या अंतर्गोल भिंगास असें एक बाह्यगोल भिंग चिकटवून ठेवा कीं तीं दोन्ही भिंगें मिळून एक बाह्यगोल भिंग तयार होईल. या जोड भिंगाचें केंद्रांतर 'के' व एकट्या बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर $के_1$ हीं केंद्रांतरें पूर्वी सांगितलेल्या पद्धतीप्रमाणें ठरवा. अंतर्गोल भिंगाचें केंद्रांतर $के_2$ हें पुढील समीकरणांवरून मिळेल.

$$\frac{१}{के} = \frac{१}{के_1} + \frac{१}{के_2}$$

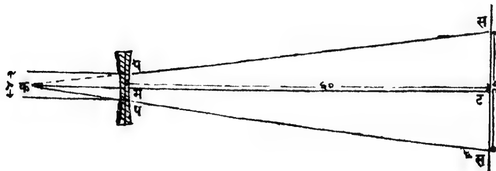
रीत २ री.

प्रयोग २३२—भिंगाचे मागें एका बुचांत एक टांचणी टोंचून ठेवा. सबंध टांचणी साधारणपणें भिंगाच्या मध्यासमोर येईल अशा रीतीनें भिंग ठेवा. भिंगांतून पाहून टांचणीच्या प्रतिमेची जागा स्थलभेदपद्धतीनें ठरवा, व नंतर

$$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$$ या सूत्रानें केंद्रांतर ठरवा.

रीत ३ री.

प्रयोग २३३— भिंगाच्या मध्यभागीं सुमारें ४ सें. मि. व्यासाच्या वर्तुळाएवढा भाग मोकळा ठेवून बाकीचें भिंग काळें करा. सूर्यकिरणांना



आकृति २३१

मुख्य आंस समांतर राहील अशा रीतीनें सूर्यकिरणांच्या मार्गांत भिंग पकडींत धरा. भिंगापासून सुमारें ६० सें. मी. अंतरांवर भिंगास समांतर

असा एक पडदा धरा व त्यावरील प्रकाशित भागाचा व्यास मोजा. समजा तो २० सें. मी. आहे.

त्रिकोण **पमक** व **सटक** सदृश आहेत.

$$\therefore \frac{\text{पम}}{\text{सट}} = \frac{\text{कम}}{\text{कट}}$$

अथवा $$\frac{२}{१०} = \frac{\text{के}}{\text{के}+६०}$$

अथवा $$२\,\text{के} + १२० = १०\,\text{के}$$

अथवा $$८\,\text{के} = १२०$$

$$\therefore \text{के} = १५ \text{ सें. मी.}$$

बाह्यगोल भिंगाच्या सूत्रात 'प' आणि प्र च्या किंमती सारख्या केल्यास व 'प्र' आणि के हे त्यांच्या चिन्हासकट घेतल्यास

$$\frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$$ या सूत्राचें रूपांतर

$$\frac{२}{\text{प}} = \frac{२}{\text{प्र}} = \frac{१}{\text{के}}$$ असें होतें.

अथवा पदार्थ व प्रतिमा सारख्या अंतरावर असल्यास केंद्रांतर हें पदार्थाच्या अथवा प्रतिमेच्या अंतराच्या निम्मे असतें.

बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर ठरविण्याची आणखी एक रीत.

प्रयोग २३४—भिंगाचे एक अंगास पडदा व दुसऱ्या अंगास पदार्थ असे सारख्या अंतरावर ठेवा. पदार्थाची स्पष्ट प्रतिमा पडद्यावर येईतों ते (पदार्थ व पडदा) पुढे मागे सरकवा. प्रत्येक वेळीं त्यांचें भिंगापासून अंतर सारखेंच ठेवण्याची खबरदारी घ्या. पदार्थाचें अथवा प्रतिमेचें भिंगापासून अंतर मोजा व त्यास दोननें भागा म्हणजे केंद्रांतर कळेल.

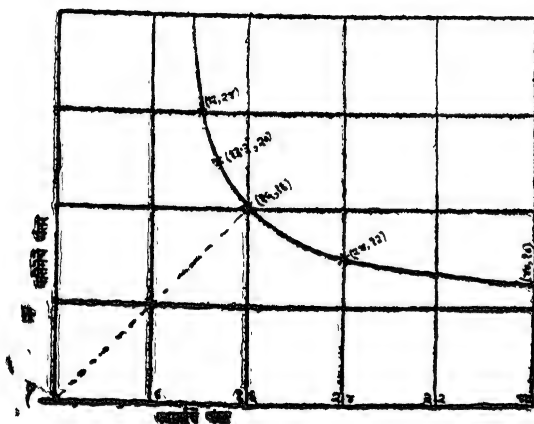
अथवा '**अब**' व '**अक**' रेषा एकमेकींशीं काटकोन करून काढा. **अब** वर पदार्थाचें व **अक**वर प्रतिमेचें याप्रमाणें अंतरें दर्शवा व पदार्थ आणि प्रतिमा यांच्या भिंगापासूनच्या अंतरांमधील संबंध दाखविणारा आलेख काढा.

बअक कोन दुभागणाऱ्या रेषेवरील प्रत्येक बिंदू अब व अक या रेषांपासून समान अंतरावर असतो, म्हणून ही रेषा आलेखास ज्या जागीं छेदील त्या ठिकाणीं प्र आणि ' प ' हे दोन्हीहि सारखेच असतील.

एका भिंगासमोर ठेवलेल्या पदार्थाची व त्याच्या प्रतिमांची अंतरें पुढें दाखविल्याप्रमाणें आहेत तर भिंगाचें केंद्रांतर काय ?

सेंटिमीटर

प	४०	२४	१६	१३·३	१२
प्र	१०	१२	१६	२०	२४



आकृति २३२

आलेखावरून प′ अथवा प्र′ ची किंमत ठरवा व तिची निम्पट करा, म्हणजे आपणास केंद्रांतर मिळेल.

भिंगावरील उदाहरणें सोडवितांना पुढील नियम लक्षांत ठेवावे.

(१) पदार्थाचें अंतर प हें नेहमीं धन असतें.

(२) प्रतिमेचें अंतर प्र′ हें प्रतिमा खरी असल्यास धन व भ्रामक असल्यास ऋण असतें.

(३) बाह्यगोल भिंगांचें केंद्रांतर व शक्ति दोन्हीहि ऋण असतात.
(४) अंतर्गोल भिंगाचें केंद्रांतर व शक्ति दोन्हीहि धन असतात.
(५) महत्कारी शक्ति धन असते तेव्हां प्रतिमा उलट असते.
(६) महत्कारी शक्ति ऋण असते तेव्हां प्रतिमा सरळ असते.

टीप. जुन्या प्रधाताप्रमाणें

(१) पदार्थांचें अंतर प हें नेहमीं धन असतें.

(२) प्रतिमेचे अंतर प्र हें प्रतिमा खरी असल्यास ऋण व भ्रामक असल्यास धन असते.

(३) बाह्यगोल भिंगांचें केंद्रांतर व शक्ति दोन्हीहि ऋण असतात.
(४) अंतर्गोल भिंगांचें केंद्रांतर व शक्ति दोन्हीहि धन असतात.
(५) महत्कारी शक्ति ऋण असते तेव्हां प्रतिमा उलट असते.
(६) महत्कारी शक्ति धन असते तेव्हां प्रतिमा सरळ असते.

आकृति काढतांना पुढील नियम लक्षांत ठेवावे.

(१) भिंगाची जाडी अत्यंत कमी आहे असें समजूनच आकृति काढावी.

(२) भिंगाच्या मध्याजवळचाच भाग उपयोगांत आणला आहे असें समजावें.

(३) प्रत्येक भिंगास दोन्ही बाजूंस सारख्याच अंतरावर दोन मुख्य केंद्रें असतात.

(४) मुख्य आंसास समांतर असणारीं किरणें बाह्यगोल भिंग असल्यास विरुद्ध बाजूच्या केंद्रांतून जातात व अंतर्गोल भिंग असल्यास त्याच बाजूच्या केंद्रांतून जातात.

(५) दर्शनमध्यांतून जाणारीं किरणें आपली दिशा न बदलतांच भिंगांतून पुढें जातात.

(६) मुख्य केंद्रांतून जाणारीं किरणें मुख्य आंसास समांतर होतात.

बाह्यगोल भिंगावरील कांहीं प्रश्न.

(१) एका बाह्यगोल भिंगासमोर २० इंच अंतरावर ठेवलेल्या पदार्थाची प्रतिमा पदार्थाच्या दुप्पट असून भिंगाचे मागचे बाजूस आहे, तर भिंगाचें केंद्रांतर काय ?

$$\frac{\text{प्रतिमेची उंची}}{\text{पदार्थाची उंची}} = \frac{\text{प्र}}{\text{प}}$$

$$\therefore \quad \frac{१}{२} = \frac{\text{प्र}}{\text{प}} \text{ अथवा } २\,\text{प} = \text{प्र}$$

$$\therefore \quad \text{प्र} = ४० \text{ इंच}$$

भिंगाचें सूत्र $\frac{१}{\text{प्र}} + \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$ हें आहे.

प्रतिमा भिंगाचे मागचे बाजूस आहे म्हणजे खरी आहे म्हणून प्र धन असलें पाहिजे.

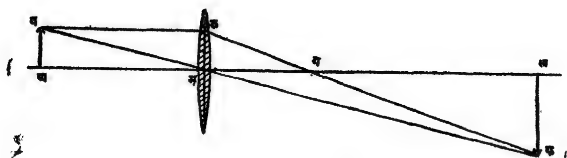
$$\therefore \quad \frac{१}{४०} + \frac{१}{२०} = \frac{१}{\text{के}}$$

$$\text{अथवा } \frac{१+२}{४०} = \frac{१}{\text{के}}$$

$$\therefore \quad \text{के} = \frac{४०}{३}$$

$$= १३\tfrac{१}{३} \text{ इंच}$$

प्रमाण $\frac{१}{४}'' = ५''$



आकृति २३३

ज्याअर्थी प्रतिमा ही पदार्थाच्या दुप्पट आकाराची आहे त्याअर्थी प्रतिमेचें अंतर पदार्थाच्या अंतराच्या दुप्पट म्हणजे ४० इंच असलें पाहिजे. भिंगाच्या 'म' या मध्यापासून 'मअ' आणि 'मख' हीं अंतरें अनुक्रमें २०" व ४०" घ्या. पदार्थ 'अब' हा सुमारें ५" उंचीची घ्या. त्याची

प्रतिमा 'खक' त्याच्या दुप्पट उंचीची म्हणजे १०″ इंच काढा. 'बल' हें किरण मुख्य आंसास समांतर काढा. लक सांधा. ही रेषा मुख्य आसास 'ग' बिंदूंत छेदते. म्हणून 'ग' या जागींच भिंगाचें मुख्य केंद्र असलें पाहिजे. व 'गम' हें केंद्रांतर असलें पाहिजे. आकृतीवरून तें सुमारें १३″ आहे.

(२) ४″ केंद्रांतर असलेल्या भिंगापासून २०० फूट अंतरावर असलेल्या झाडाची प्रतिमा १″ मोठी दिसते तर झाडाची उंची काय ? प्रतिमा केंद्रिय पातळींतच आहे असें समजा.

$$\frac{\text{पदार्थाची उंची}}{\text{प्रतिमेची उंची}} = \frac{\text{पदार्थाचें अंतर}}{\text{प्रतिमेचें अतर}}$$

$$\therefore \frac{\text{झाडाची उंची (फुटांत)}}{\frac{१}{१२}} = \frac{\text{पदार्थाचें अंतर}}{\text{केंद्रांतर}} = \frac{२००}{\frac{१}{३}}$$

$$\text{अथवा } १२ \times \text{झाडाची उंची} = ३ \times २०० \text{ फूट}$$

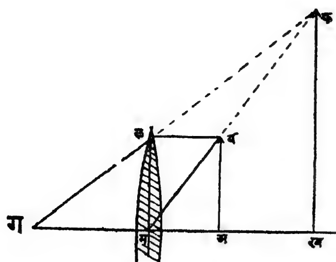
$$\therefore \text{झाडाची उंची} = \frac{३ \times २००}{१२} \text{ फूट}$$

$$= ५० \text{ फूट}$$

(३) एका महत्कारी भिंगाचें केंद्रांतर ५ सें. मी. आहे. त्याचेपासून ३ सें. मी. अंतरावर ठेवलेल्या ४ सें. मी. उंचीच्या पदार्थाची प्रतिमा कोठे व कशी पडेल हें आकृतीच्या सहाय्यानें ठरवा व उत्तर सूत्रानें तपासून पाहा.

भिंगाच्या 'म' या मध्यापासून 'मअ' = ३ सें. मी. घ्या. 'अब' हा पदार्थ मुख्य आंसास काटकोन करून ४ सें. मी. उंचीचा काढा. 'बल' हें मुख्य आंसास समांतर असलेलें किरण 'ल' येथून भिंगातून गेल्यावर 'ग' या मुख्य केंद्रांतून 'लग' या मार्गानें जाईल. व भिंगाच्या 'म' या मध्यातून जाणारें किरण बम मार्गानें जाईल. 'लग' आणि 'बम' या रेषा

वाढविल्यास एकमेकीस मिळत नाहींत म्हणून ‘अब’ पदार्थाची खरी प्रतिमा मिळणें शक्य नाहीं. या रेषा ‘गल’ व मब या दिशांनीं वाढविल्यास ‘क’ बिंदूंत छेदतात. म्हणून ‘ब’बिंदूची भ्रामक प्रतिमा ‘क’येथें दिसेल व ‘अब’ पदार्थाची भ्रामक प्रतिमा ‘खक’ जागीं दिसेल. आकृतीवरून‘मख’हे प्रतिमेचें अंतर ७·५ सें. मी.आहे.‘खक’ (प्रतिमेची उंची) १०सें.मी.आहे.व प्रतिमा सरळ आहे.



आकृति २३४

भिंगाचें सूत्र $\frac{१}{प्र}+\frac{१}{प}=\frac{१}{के}$

येथें प = ३ आणि के = ५ आहे. बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर धन असतें. म्हणून के = + ५. या किंमती सूत्रांत घालून

$$\frac{१}{प्र}+\frac{१}{३}=\frac{१}{५}$$

$$\therefore \quad \frac{१}{प्र}=\frac{१}{५}-\frac{१}{३}$$

$$=\frac{३-५}{१५}$$

$$=-\frac{२}{१५}$$

$$\therefore\ प्र = -\frac{१५}{२} = -७·५ \text{ सें. मी.}$$

प्रतिमेचें अंतर ऋण असून पदार्थाच्या अडीच पट आहे. म्हणून प्रतिमा भ्रामक असून तिची उंची पदार्थाच्या अडीच पट म्हणजे १० सें. मी. असली पाहिजे.

(४) भिंतीपासून ३ फूट अंतरावर असलेल्या ज्योतीची प्रतिमा भिंतीवर स्पष्ट दिसण्याकरतां ८ इंच केंद्रांतर असलेलें बाह्यगोल भिंग कोठे ठेवावें ?

या उदाहरणांत प्रप + ३६″ व के = + ८ (बाह्यगोल भिंग आहे म्हणून) ज्या अर्थी प्रतिमा खरी आहे त्या अर्थी प्रतिमेचें अंतर 'प्र' हें धन असलें पाहिजे.

$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ या सूत्रांत 'प्र', 'प' आणि 'के'च्या

किंमती घालून $\frac{१}{(३६-प)} + \frac{१}{प} = \frac{१}{८}$ हें समीकरण मिळेल.

अथवा $\frac{प + ३६ - प}{३६ प - प^२} = \frac{१}{८}$

अथवा $३६ \times ८ = ३६ प - प^२$

अथवा $प^२ - ३६ प + ३६ \times ८ = ०$

अथवा $(प - २४) \quad (प - १२) = ०$

यावरून ज्योतीपासून १ फूट अथवा २ फूट अंतरावर भिंग ठेवलें असतां ज्योतीची स्पष्ट प्रतिमा भिंतीवर पडेल.

अंतर्गोल भिंगावरील कांहीं उदाहरणें—

(१) अंतर्गोल भिंगापासून १०० सें. मी. अंतरावर ठेवलेल्या पदार्थाची भ्रामक प्रतिमा भिंगापासून २५ सें. मी. अंतरावर दिसण्याकरतां भिंगाचें केंद्रांतर काय असावें ?

या उदाहरणांत प = १०० आणि प्र = – २५ या किंमती भिंगाचें

$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ या सूत्रांत घालून

$\frac{१}{-२५} + \frac{१}{१००} = -\frac{१}{के}$ हें समीकरण मिळेल.

$$\text{अथवा } \frac{-४+१}{-१००} = \frac{१}{-\text{के}}$$

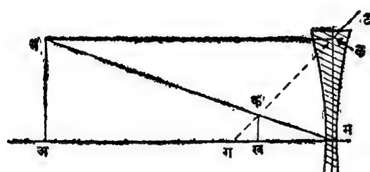
$$\text{अथवा } \frac{३}{१००} = \frac{१}{-\text{के}}$$

$\therefore$ के = – ३३·३ सें. मी.

आकृति काढून–

$$\frac{\text{प्रतिमेची उंची}}{\text{पदार्थाची उंची}} = \frac{\text{प्र}}{\text{प}} = \frac{२५}{१००} = \frac{१}{४} :$$

'म' या दर्शनमध्यापासून 'मअ' या मुख्य आंसावर मअ = १०० सें. मी. व मख = २५ सें. मी. याप्रमाणें वाटेल त्या प्रमाणानें अंतर मोजून घ्या. 'अब' हा पदार्थ वाटेल त्या उंचीचा काढा, व 'ख' येथें त्याच्या उंचीच्या $\frac{१}{४}$ उंचीची रेषा काढा. म्हणजे 'क' या ठिकाणीं ब या बिंदूची प्रतिमा असली पाहिजे. 'बल' हें मुख्य आंसास समांतर असणारें किरण भिंगांतून लट–या मार्गानें जातें.



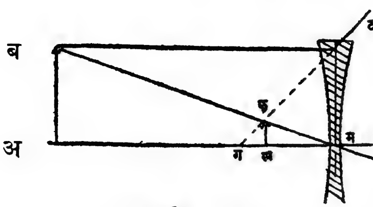
अकृति २३५

पण लट या मार्गानें तें गेल्यास 'बम'—या दर्शनमध्यांतून जाणाऱ्या किरणास छेदत नाहीं. हें किरण भिंगांतून मागें टल या दिशेनें वाढविल्यास बम या किरणास क बिंदूंत छेदतें. म्हणून 'क' ही 'ब'ची भ्रामक प्रतिमा आपणास मिळते. लक—रेषा पुढें वाढविल्यास मुख्य आंसाला ग या बिंदूंत छेदते म्हणून ग हें मुख्य केंद्र असलें पाहिजे.

'मग' हें अंतर सुमारें ३४ सें. मी. आहे, म्हणून दिलेल्या भिंगाचें केंद्रांतर ३४ सें. मी. असलें पाहिजे.

(२) ६″ केंद्रांतर असलेल्या अंतर्गोल भिंगासमोर १८″ अंतरावर **एक पदार्थ ठेवला आहे तर त्याची प्रतिमा कोठें व कशी पडेल हें आकृतीच्या सहाय्यानें ठरवा.**

'म' पासून 'मअ' या मुख्य आंसावर १ घर = ६″ या मापानें



आकृति २३६

१८″ अंतर मोजून घ्या. व 'अब' रेषेनें पदार्थ दर्शवा.

'ब' पासून 'मअ' या मुख्य आंसास समांतर असणारें 'बल' किरण 'गल'—या दिशेनेंच लट मार्गानें पुढें गेलें पाहिजे. ही रेषा टल—या दिशेनें वाढविल्यास 'बम' या भिंगाच्या मध्यांतून जाणाऱ्या किरणाचा मार्ग दर्शविणाऱ्या रेषेस 'क' बिंदूंत छेदते. म्हणून 'क' ही बची भ्रामक प्रतिमा होईल. 'बअ' हा पदार्थ मुख्य आंसाशीं काटकोन करून ठेवला आहे. म्हणून 'कख' ही त्याची प्रतिमा देखील 'मअ' शीं काटकोन करूनच असेल. 'मख' अंतर मोजा. हें अंतर सुमारें ४·५″ आहे व प्रतिमेची उंची पदार्थाच्या $\frac{१}{४}$ उंचीइतकी आहे असें दिसेल.

सूत्रानें $\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ दिलेल्या उदाहरणांत प = १८ के = − ६

$$\therefore \frac{१}{प्र} + \frac{१}{१८} = -\frac{१}{६}$$

$$\text{अथवा } \frac{१}{प्र} = -\frac{१}{६} - \frac{१}{१८}$$

$$= -\frac{३ + १}{१८}$$

$$= -\frac{४}{१८}$$

$$\therefore \text{ प्र} - \frac{१८}{४} = -\text{ ४·५ इंच.}$$

प्रतिमेचें अंतर पदार्थाच्या अंतराच्या $\frac{१}{४}$ असल्यानें प्रतिमेची उंचीहि पदार्थाच्या $\frac{१}{४}$ उंची इतकी असेल.

जुन्या प्रघाताप्रमाणें—

भिंगापासून १२″ अंतरावर असलेल्या पदार्थाची खरी प्रतिमा भिंगाचे विरुद्ध बाजूस भिंगापासून ८″ अंतरावर पडते. पदार्थ भिंगाचे बाजूस ६″ सरकविला तर त्याची प्रतिमा स्पष्ट मिळण्याकरतां पडदा कोणच्या बाजूस सरकविला पाहिजे?

या उदाहरणांत प = + १२; प्रतिमा खरी असल्यानें प्र = – ८.

भिंगाचें सूत्र $\frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ उदाहरणांतील प आणि

प्र च्या किंमती घालून – $\frac{१}{१२} - \frac{१}{८} = \frac{१}{के}$

$$\text{अथवा} - \frac{२ + ३}{२४} = \frac{१}{के}$$

आतां पदार्थ भिंगाकडे ६″ सरकविला आहे म्हणून नवीन स्थितींत प = (१२ – ६) = ६.

$$\therefore \frac{१}{प्र} - \frac{१}{६} = \frac{१}{के} = - \frac{५}{२४} :$$

$$\therefore \quad \frac{१}{प्र} = - \frac{५}{२४} + \frac{१}{६}$$

$$= - \frac{१}{२४}$$

$$\therefore \quad प्र = - २४$$

नवीन जागीं पदार्थ असतां त्याची प्रतिमा भिंगापासून २४ इंचावर पडते. शिवाय प्र ची किंमत ऋण आहे; म्हणून प्रतिमा खरी आहे. म्हणून पडदा (२४–८) = १६ इंच मागें सरकविला पाहिजे.

(२) २० सें. मी. केंद्रांतर असलेल्या (१) बाह्यगोल (२) अंत-

गोल भिंगापासून १० सें. मी. अंतरावर ठेवलेल्या पदार्थांची प्रतिमा कोठें पडेल ?

बाह्यगोल भिंगः– या भिंगाचें केंद्रांतर ऋण असतें म्हणून

$$\text{के} = -२०$$

$$\frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$$ या सूत्रांत प आणि केच्या

किंमती घालून $$\frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{१०} = \frac{१}{-२०}$$

अथवा $$\frac{१}{\text{प्र}} = \frac{१}{-२०} + \frac{१}{१०}$$

$$= \frac{१}{२०}:$$

$$\therefore \text{प्र} = +२० \text{ सें. मी.}$$

'प्र' ची किंमत धन आहे म्हणून प्रतिमा भ्रामक असून पदार्थाचे बाजूस भिंगापासून २० सें. मी. अंतरावर आहे.

अंतर्गोल भिंगः—या भिंगाचें केंद्रांतर धन असतें म्हणून

$$\text{के} = +२०$$

$$\frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{\text{प}} = \frac{१}{\text{के}}$$ या सूत्रांत 'प' आणि 'के' च्या किंमती

घालून

$$\frac{१}{\text{प्र}} - \frac{१}{१०} = \frac{१}{२०}$$

अथवा $$\frac{१}{\text{प्र}} = \frac{१}{२०} + \frac{१}{१०}$$

$$= \frac{३}{२०}$$

$$\therefore \text{प्र} = \frac{२०}{३} = ६\frac{२}{३}.$$

प्र ची किंमत धन आहे म्हणून प्रतिमा भ्रामक असून पदार्थाचे बाजूस भिंगापासून $६\frac{२}{३}$ सें. मी. अंतरावर आहे.

प्रश्नसंग्रह २३ वा.

(१) दर्शनमध्य, मुख्य आंस, मुख्य केंद्र आणि केंद्रीय पातळी यांच्या व्याख्या द्या व हे दर्शविणारी आकृति काढा.

(२) एक लहान विजेचा दिवा व एक बाह्यगोल भिंग दिलें असतां यांचे सहाय्यानें समांतर किरणशलाका (Parallel beam of light) मिळविण्याकरतां तुम्ही उपकरणांची मांडणी कशी कराल ? तुम्ही केलेली मांडणी बरोबर आहे किंवा नाहीं हें कसें पाहाल ?

(३) दिलेलें भिंग बाह्यगोल किंवा अंतर्गोल आहे हें त्यास हात न लावतां केवळ त्यांतून पाहून कसें ठरवाल ?

(४) बाह्यगोल भिंगामुळें उत्पन्न होणारी प्रतिमा केव्हां खरी व केव्हां भ्रामक असते ? (२) पदार्थापेक्षां केव्हां मोठी व केव्हां लहान असते ? (३) केव्हां सरळ व केव्हां उलटी असते ?

(५) सपाट आरशांत दिसणारी प्रतिमा व बाह्यगोल भिंगामुळें तयार होणारी (१) खरी प्रतिमा (२) भ्रामक प्रतिमा यांची तुलना करा.

(६) पदार्थ भिंगापासून अनंत अंतरापर्यंत हळूहळू सरकवीत नेल्यास प्रतिमेच्या आकारांत, प्रकारांत व ठिकाणांत काय काय बदल होईल हें सूत्राच्या व आकृतीच्या सहाय्यानें ठरवा.

(७) भिंगापासून १० फूट अंतरावर असलेल्या पदार्थाची प्रतिमा भिंगापासून ३ फूट अंतरावर पडत असेल तर भिंगाचें केंद्रांतर काय ?

(८) $३\frac{१}{४}$ इंच बाजू असलेल्या चौरस चित्राची प्रतिमा भिंगापासून ३० फूट असलेल्या पडद्यावर ८ फूट बाजू असलेल्या चौरसाएवढी पाडावयाची झाल्यास किती केंद्रांतराचें भिंग वापराल ?

(९) एका बाह्यगोल भिंगापासून ६ सें. मी. अंतरावर असलेल्या पदार्थाची प्रतिमा पदार्थाचेच बाजूस १२ सें. मी. अंतरावर पडते तर

त्या भिंगाचें केंद्रांतर काय हें आकृती काढून ठरवा. तुमचें उत्तर गणितानें तपासून पाहा.

(१०) अंतर्गोल भिंगामुळें दिसणारी प्रतिमा पदार्थापेक्षां नेहमीं लहानच कां असते ?

(११) दिवा व पडदा यांचेमध्यें ६२·५ सें. मी. अंतर आहे. १५ सें. मी. केंद्रांतराच्या भिंगामुळें पडद्यावर दिव्याची स्पष्ट प्रतिमा दिसते. दिव्याची पडद्यावर स्पष्ट प्रतिमा पाडण्याकरतां भिंग दोन निरनिराळ्या जागीं ठेवतां येतें हें सिद्ध करा. भिंग या दोन जागीं ठेवलें असतां महती-करण किती किती होतें ?

(१२) एका बाह्यगोल भिंगापासून ९″ अंतरावर पदार्थ ठेवला असतां त्याची खरी प्रतिमा (पदार्थाच्या) दुप्पट मोठी असते. त्याच भिंगासमोर ७″ अंतरावर पदार्थ ठेवल्यास त्याची प्रतिमा कोठें व किती मोठी पडेल ?

(१३) एका बाह्यगोल भिंगाचें केंद्रांतर १० सें. मी. आहे. त्यास एक अंतर्गोल भिंग जोडलें म्हणजे या संयुक्त भिंगाचें केंद्रांतर १५ सें. मी. होतें. तर अंतर्गोल भिंगाचें केंद्रांतर काय ?

(१४) १ फूट केंद्रांतर असलेल्या भिंगापासून किती अंतरावर पदार्थ ठेवला असतां भिंगापासून २० फूट अंतरावर त्याची स्पष्ट प्रतिमा पडेल ? ही प्रतिमा पदार्थाच्या किती पट मोठी असेल ?

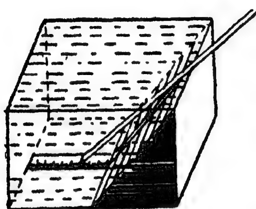


प्रकरण २४ वें.

वक्रीभवन (Refraction)

आपण मागें असें पाहिलें आहे कीं, प्रकाशकिरणें भिंगांतून जातांना वळतात म्हणजे आपला मार्ग बदलतात. तीं विशिष्ट आकाराच्या कांचेंतून जातानांच आपला मार्ग बदलतात किंवा एका माध्यमांतून दुसऱ्या माध्यमांत (हवा व कांच; हवा व पाणी) जातांना आपला मार्ग बदलतात हें आतां पाहावयाचें आहे.

प्रयोग२३५—एका बाजूस कांच लावलेला पत्र्याचा एक चौकोनी डबा घेऊन त्याच्या बुडाशीं, त्याच्या एका बाजूस समांतर अशी एक मोजपट्टी ठेवा. हा डबा उन्हांत ठेवून डब्याच्या बाजूची सांवली कोठें पडते तें पाहा. हें ठिकाण सूर्यकिरणें ज्या दिशेनें येतात ती दर्शविणारी रेषा डब्याच्या वरच्या कडेपासून बुडापर्यंत वाढविली असतां मिळेल. कारण प्रकाश एकाच माध्यमांत सरळ रेषेनें जातो. डब्यांत पाणी भरा व डब्याच्या पूर्वींच्याच बाजूची सांवली आतां कोठें पडते तें पाहा. ती आतां पूर्वींच्या ठिकाणीं पडत नसून डब्याच्या बाजूकडे सरकली आहे असें दिसेल.

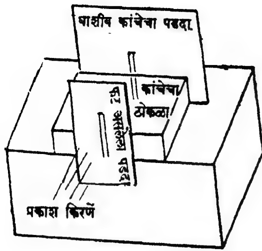


आकृति २३७

यावरून प्रकाश एका माध्यमांतून दुसऱ्या माध्यमांत जात असतां आपला मार्ग बदलतो. यालाच **वक्रीभवन** (Refraction) म्हणतात.

प्रयोग २३६—एका लांकडी ठोकळ्यावर कांचेचा जाड चौकोनी ठोकळा ठेवा. त्याच्यासमोर लांकडी ठोकळ्यास लहान उभी फट असलेला खरड्याचा तुकडा पक्का बसवा. फटीवर आरशाच्या साहाय्यानें सूर्यप्रकाश पाडा. या प्रकाशकिरणांशीं कांचेच्या ठोकळ्याचा एक पृष्ठभाग काटकोन करून राहीतो लांकडी ठोकळा फिरवा. कांचेच्या ठोकळ्यास लागूनच त्याच्या मागें एक घाशीव कांचेचा पडदा ठेवा व पडद्यावर काय दिसतें तें पाहा. तुम्हांस असें आढळेल कीं (१) फटींतून येणाऱ्या प्रकाशाचा

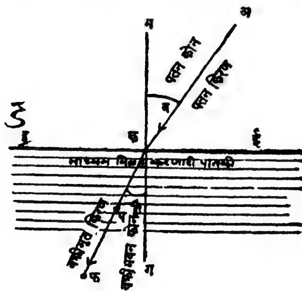
कांहीं भाग कांचेतून व कांहीं हवेंतून जातो व त्यामुळें कांचेच्या पडद्यावर फटीसारखा प्रकाशित भाग दिसूं लागतो. (२) यापैकीं ज्या भागावर कांचेंतून प्रकाश जातो तो भाग बाकीच्या प्रकाशित भागापेक्षां किंचित अंधुक दिसतो. (३) कांचेंतून येणाऱ्या प्रकाशामुळें दिसणारा फटीचा भाग व हवेंतून येणाऱ्या प्रकाशामुळें दिसणारा फटीचा भाग हे दोन्हीहि एकाच सरळ रेषेंत दिसतात. लांकडी ठोकळा हळूहळू फिरवा. पडद्यावरील फटींत काय फरक होतो तें पाहा.



आकृति २३८

प्रकाशित फटीचे दोन भाग झाल्यासारखे दिसतील व कांचेंतून येणाऱ्या प्रकाशानें प्रकाशित झालेला फटीचा भाग, कांचेच्या ज्या पृष्ठभागावर प्रकाश पडतो, त्या पृष्ठभागावर काढलेल्या लंबाच्या बाजूस झुकलेला असतो असें दिसेल; अथवा ठोकळयाच्या पृष्ठभागावर पतनबिंदूपासून काढलेल्या लंबाशीं हवेंतून जाणारें किरण जितक्या अंशांचा कोन करतें त्यापेक्षां कांचेंतून जाणारें किरण कमी अंशांचा कोन करतें.

किरण जेव्हां एका माध्यमांतून दुसऱ्या माध्यमांत जातें तेव्हां तें आपला मार्ग बदलतें. बाजूचे आकृतींत अब हें किरण हवेंतून येऊन दुसऱ्या माध्यमांत ' क ' जागीं शिरत आहे. डकई ही तीं दोन्हीं माध्यमें विलग करणारी पातळी आहे व ' मग ' हा या पातळीवर ' क ' पासून काढलेला लंब आहे. 'पफ' हा दुसऱ्या माध्यमांतील किरणाचा मार्ग आहे.



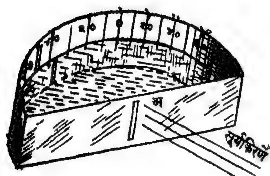
आकृति २३९

डकई या पातळीवर काढलेल्या 'मग' या लंबास **लंब**, (Normal) 'अब' ला **पतन किरण** (Incident ray), 'पफ'ला **वक्रीभूत किरण** (Refracted ray), ∠अकम ला **पतन कोन** (Angle of-incidence) आणि ∠फकग ला **वक्रीभवन कोन** (Angle of refraction) अशीं नांवें दिलीं आहेत.

मागील प्रयोगांत आपण असें पाहिलें कीं हवेंतून प्रकाश जेव्हां कांचेंत शिरतो तेव्हां वक्रीभवनकोन पतनकोनापेक्षां लहान असतो. ज्या वेळीं प्रकाशकिरण एका माध्यमांतून दुसऱ्या माध्यमांत जात असतां लंबाकडे वळतें, अथवा वक्रीभवनकोन हा पतनकोनापेक्षां लहान असतो, त्यावेळीं दुसऱ्या माध्यमाची **दार्शनिक घनता** (optical density) पहिल्या माध्यमापेक्षां जास्त असते.

प्रयोग २३७–ठोकळा हळूहळू फिरवा म्हणजे पतनकोन वाढेल. त्यामुळें वक्रीभवनकोन वाढतो का पाहा. तोही वाढतो असें दिसेल. दोन्ही कोन सारख्याच प्रमाणांत वाढतात का ?

प्रयोग २३८—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एक भांडें घ्या व तें अर्धें पाण्यानें भरा. ‘ अ ’ फटींतून जाणारा प्रकाश शून्याच्या खुणेवर येईल अशा रीतीनें भांडें ठेवा. पाण्यांतून व हवेंतून जाणाऱ्या प्रकाशामुळें भांड्याच्या बाजूवर दिसणाऱ्या फटीच्या प्रतिमा एकाच सरळ रेषेंत आहेत का पाहा. त्या एकाच सरळ रेषेंत आहेत असें दिसेल. म्हणजे पतनकोन व वक्रीभवन कोन दोन्हीहि शून्य अंशाचेच होतील. कांचेचें भांडें हळूहळू फिरवा म्हणजे पतनकोन वाढेल. त्याचेबरोबर वक्रीभवन कोन वाढतो का पाहा. दोन्हीं कोनांचे वाढण्याचें प्रमाण एकच आहे का तेंहि पाहा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.



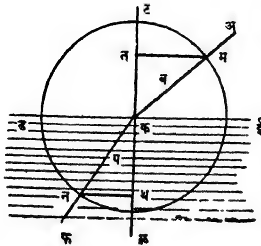
आकृति २४०

निरीक्षणक्रमांक	पतनकोन	वक्रीभवन कोन
१	०	०
२	२५	२०
३	५०	३७॥

वरील निरीक्षणांवरून असें दिसून येईल कीं, पतनकोन जसजसा

मोठमोठा होतो. तसतसा वक्रीभवनकोनहि मोठमोठा होतो पण त्याचें वाढण्याचें प्रमाण मात्र एक असत नाहीं.

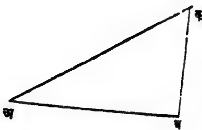
ज्या ठिकाणीं पाण्याच्या अथवा कांचेच्या पृष्ठभागांवर किरण पडतें त्या म्हणजे 'क' या पतनबिंदूस मध्य कल्पून वाटेल त्या त्रिज्येनें एक वर्तुळ काढा. हें वर्तुळ हवेंतून येणाऱ्या 'अब' या किरणास व पाण्यांतून अथवा कांचेतून जाणाऱ्या पफ या वक्रीभूत किरणास अनुक्रमें 'म' व 'न' बिंदूंत छेदूं द्या. माध्यम विलग करणाऱ्या डकई या पातळीवर 'क' या पतनबिंदूपासून 'टक' हा लंब काढा.



आकृति २४१

या लंबावर 'म' आणि 'न' पासून 'मत' आणि 'नथ' हे लंब पाडा, व या लंबांचें गुणोत्तर काढा. ∠मकत हा पतनकोन लहान मोठा घेऊन प्रयोग करा व लंबांचें गुणोत्तर $\left(\frac{\text{मत}}{\text{नथ}}\right)$ हें हवा व पाणी या माध्यमांकरतां कायम असतें का पाहा. तें गुणोत्तर हवा व पाणी या माध्यमांच्या जोडी-करतां कायम असतें असें दिसेल.

टीप



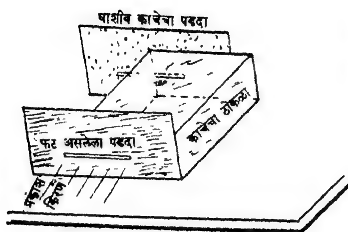
आकृति २४२

अबक या काटकोन–त्रिकोनांत $\frac{\text{लंब}}{\text{कर्ण}}$ म्हणजे $\frac{\text{बक}}{\text{अक}}$ या गुणोत्तरास 'अ' कोनाची ज्या म्हणतात.

म्हणून दोन ठराविक माध्यमां (हवा व दुसरें माध्यम) करतां $\frac{\text{मत}}{\text{नथ}}$ हें गुणोत्तर, अथवा $\frac{\text{पतनकोनाची ज्या}}{\text{वक्रीभवनकोनाची ज्या}}$ हें गुणोत्तर कायम असतें.

या गुणोत्तरास **घन माध्यमाचा वक्रीभवनदर्शक** (Index of refraction) म्हणतात. व तो ${}_{\text{हवा}}\mu^{\text{दुसरें माध्यम}}$ याप्रमाणें दर्शवितात.

प्रयोग २३९—बारीक फट असलेला खरड्याचा तुकडा त्यांतील फटीची लांबी टेबलास समांतर राहील अशा रीतीनें टेबलावर उभा ठेवा. खरड्यास समांतर पण त्यांपासून कांहीं अंतरावर एक घाशीव कांचेचा पडदा उभा ठेवा. टेबलाच्या पृष्ठभागापासून खरड्यांतील फट जितक्या उंचीवर असेल तेवढ्याच उंचीवर तिच्यांतून जाणाऱ्या प्रकाशामुळें प्रकाशित झालेला पडद्यावरील भाग दिसेल अशा रीतीनें फटीवर सूर्यप्रकाश पाडा. फटीच्या अर्ध्या भागासमोर कांचेचा जाड ठोकळा ठेवा. पडद्यावरील प्रकाशित भागाचे दोन भाग झालेले दिसतील. एका भागास कांचेतून जाणारा व दुसऱ्यास हवेंतून जाणारा प्रकाश मिळतो. दोन्ही भागांची टेबलाच्या पृष्ठभागापासून उंची मोजा. ती सारखीच आहे असें दिसेल.



आकृति २४३

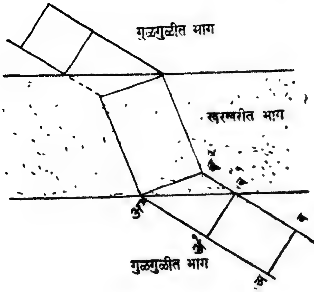
यावरून पतनकिरण, पतनबिंदूपासून काढलेला लंब व वक्रीभूतकिरण हे तीनहि एकाच पातळींत असतात असें सिद्ध होतें.

वक्रीभवनाचे नियमः—

(१) पतनकिरण, पतनबिंदूपासून माध्यम विलग करणाऱ्या पातळीवर काढलेला लंब व वक्रीभूत किरण हे तीनहि एकाच पातळींत असतात.

(२) दोन ठराविक माध्यमांकरतां पतनकोनाची ज्या व वक्रीभवनकोनाची ज्या यांचें गुणोत्तर ध्रुव असतें.

प्रयोग २४०—कॅरमबोर्डाचा मधला कांहीं भाग जाड कानशीनें घासून चांगला खरखरीत करा. गुळगुळीत व खरखरीत पृष्ठभाग वेगळे करणाऱ्या 'कख' या सरळ रेषेशीं कांहीं अंशांचा कोन करणाऱ्या रेषेवर 'अब' ही पेन्सिल ठेवून ती फिरत जाईल अशा रीतीनें ढकला. ती खरखरीत भागांवर जातांना आपली दिशा बदलते का पाहा. ती आपली दिशा बदलते असें दिसेल. खरखरीत भागावरून ती तशीच पुढें जाऊं द्या व गुळगुळीत भागावर पुनः जातांना ती आपली दिशा बदलते का पाहा. ती आपली दिशा बदलत असून तिची दिशा पूर्वीच्या दिशेस समांतर असते. 'अब' ही पेन्सिल फिरत फिरत जेव्हां 'अ′ ब′' जागीं येईल तेव्हां तिचें ब टोंक खरखरीत पृष्ठभागास अगदीं लागलेलें असेल. यानंतर ती पुढें गेल्यास तिच्या 'ब' टोंकाची गति (त्यास खरखरीत पृष्ठभागावरून फिरावयाचें असल्यानें) 'अ' टोंकापेक्षां कमी होईल. व जेवढ्या वेळांत 'अ' टोंक 'अ′' पासून 'अ″' पर्यंत जाईल तेवढ्या वेळांत 'ब' हें टोंक 'ब′' पासून 'ब″' पर्यंतच जाईल. त्यामुळें पेन्सिल पूर्वी ज्या दिशेनें पुढें जात होती त्या दिशेनें न जातां ती आतां निराळ्या दिशेनें जाईल. पुढें तेथें खालीं असलेल्या गुळगुळीत भागावर जेव्हां ती जाईल तेव्हां पूर्वी झालेल्या कार्याच्या विरुद्ध कार्य होऊन ती सुरवातीस ज्या दिशेनें जात होती त्याच दिशेनें आतां जाऊं लागेल. 'अब' पेन्सिल 'कख' रेषेला समांतर ठेवून तिला सरळ 'कख' कडे ढकला. ती खरखरीत भागावर जातांना आपली दिशा बदलते का पाहा. ती आतां आपली दिशा बदलत नाहीं असें दिसेल. पेन्सिलीचीं दोन्ही टोंकें खरखरीत पृष्ठभागावर एकदमच जात असल्यानें दोघांचीहि गति सारखीच कमी होईल व ती पेन्सिल आपली दिशा न बदलतांच पुढें जाईल. पेन्सिल ही प्रकाशलहर आहे अशी कल्पना केल्यास दोन माध्यमांपैकीं



आकृति २४४

ज्या माध्यमांत प्रकाशलहरीची गति कमी असेल त्या माध्यमांत शिरतांना ती आपली दिशा बदलते, पण तिची पुढें जाण्याची दिशा माध्यम विलग करणाऱ्या पातळीशीं काटकोन करून असेल तर ती आपली दिशा बदलत नाहीं.

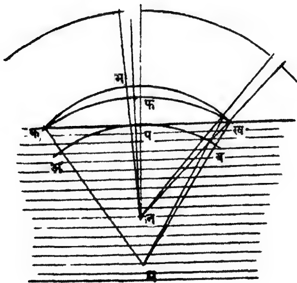
यावरून प्रकाशाची दोन माध्यमांतील गति निरनिराळी असणें हें वक्रीभवन होण्याचें कारण असतें असें दिसून येईल.

प्रयोग २४१—एक कांचेचे वायुपात्र घ्या. तें पाण्यानें पूर्ण भरा. त्या वायुपात्रांत वरून पाहा. त्या वायूपात्राचें बूड जेथें दिसेल तेथें वायुपात्राचे बाहेरील बाजूस खूण करा. वायुपात्रांत निरनिराळ्या उंचीपर्यंत पाणी भरा व बूड कोठें दिसतें तें पाहा. तुम्हांस असें दिसून येईल कीं वायुपात्रांतील पाण्याच्या एकंदर खोलीच्या $\frac{3}{4}$ खोलीवर वायुपात्राचें बूड दिसतें.

हा सृष्टचमत्कार दिसण्याचें मुख्य कारण म्हणजे प्रकाशाची पाण्यांतील गति त्याच्या हवेंतील गतिपेक्षां कमी असते हें होय.

टीप—लहरवादानें वरील चमत्कार पुढें दाखविल्याप्रमाणें समजावून देता येतो.

समजा पाण्याखालीं असलेल्या 'म' बिंदूपासून निघणारी प्रकाशलहर सर्व बाजूनीं सारख्याच गतीनें पसरत आहे. तिचा उच्चतम भाग ज्या वेळीं पाण्याच्या पृष्ठभागास 'प' या ठिकाणीं स्पर्श करील त्या वेळीं ती गोलच आकाराची असेल. प्रकाशाच्या गतींत जर फरक झाला नसता तर थोड्या वेळानंतर हीच लहर 'कफख' या वर्तुलखंडानें दर्शविली असती.(अक = पफ = बख) व या वेळीं तिचा मध्य 'म' हाच राहिला असता; पण



आकृति २४५

हवेंतील गति जर पाण्यांतील गतीपेक्षां जास्त असती तर 'अ' आणि 'ब' जवळील लहरीचा भाग 'क' आणि 'ख' पर्यंत जाईतों 'प'

जवळील भाग 'फ' च्या पुढें 'भ' पर्यंत गेला असता व लहरीचा आकार 'कभख' झाला असता. 'कभख' ही लहर 'कफख' पेक्षां अधिक वक्र असल्यानें तिचा मध्य 'न', 'म' च्या वर असावयास पाहिजे. वरून पाहाणाऱ्या माणसास या लहरीचा उगम 'म' येथें नसून 'न' येथें आहे असा भास होतो—कारण डोळ्याकडे प्रत्यक्ष येणारा उजेड भ पासून न येतां 'न' पासून येत असतो व हा बिंदु 'म' चे वर दिसतो म्हणून प्रकाशाची पाण्यांतील गति हवेंतील गतिपेक्षां कमी असते हें सिद्ध होतें.

वरील, वायुपात्राच्या प्रयोगावरून प्रकाशाची पाण्यांतील गति हवेंतील गतिपेक्षां कमी असते हें तर सिद्ध होतेंच पण त्यांचें परस्परांशीं काय प्रमाण असतें हेंहि त्यावरून ठरवितां येतें.

बाजूचे आकृतीवरून असें दिसेल कीं जेवढया वेळांत 'अब' ही लाट पाण्यांतून अक = पफ = बख येवढें अंतर सरकते तेवढयाच वेळात ती हवेंतून 'पभ' इतकें अंतर आक्रमिते.

$$\therefore \frac{\text{हवेंतील गति}}{\text{पाण्यांतील गति}} = \frac{\text{पभ}}{\text{पफ}}$$

$$\text{वक्रता} = \frac{१}{\text{त्रिज्या}} \quad \therefore \frac{\text{कभखची वक्रता}}{\text{कफखची वक्रता}} = \frac{\frac{१}{\text{खन}}}{\frac{१}{\text{खम}}} = \frac{\text{खम}}{\text{खन}}$$

पण हे कंस लहान आहेत म्हणून त्याच्या वक्रता 'पभ' आणि 'पफ' च्या प्रमाणांत असतात.

$$\therefore \frac{\text{हवेंतील गति}}{\text{पाण्यातील गति}} = \frac{\text{पभ}}{\text{पफ}} = \frac{\text{'कभख'ची वक्रता}}{\text{कफखची वक्रता}} = \frac{\text{खम}}{\text{खन}}$$

पण अगदी वरून पाहिल्यास $\frac{\text{खम}}{\text{खन}} = \frac{\text{पम}}{\text{पन}}$

$$\frac{\text{हवेंतील गति}}{\text{पाण्यांतील गति}} = \frac{\text{पभ}}{\text{पन}} = \frac{\text{खरी खोली}}{\text{दृश्य खोली}}$$

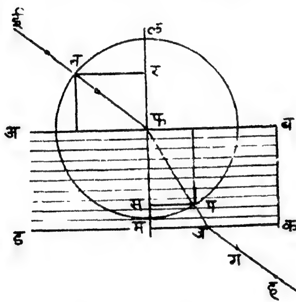
अशा अ प्रत्यक्ष रीतीनें ठरविलेलें दोन्ही माध्यमांतील गतींचें गुणोत्तर प्रत्यक्ष मोजलेल्या गतींच्या गुणोत्तराशीं तंतोतंत जुळतें. यामुळें लहरवादास चांगलीच पुष्टी मिळाली आहे.

हवेंतील गति व दुसऱ्या माध्यमांतील गति यांच्या गुणोत्तरास दुसऱ्या माध्यमाचा वक्रीभवनदर्शक (Refractive index) म्हणतात.

कांचेचा वक्रीभवनदर्शक ठरविणें—

रीत १ ली.

प्रयोग २४२—एका चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. त्यावर समांतर बाजू असलेला, काचेचा जाड चौकोनी ठोकळा ठेवा. ठोकळयाची रूपरेषा 'अबकड' बारीक पेन्सिलीनें आंखून घ्या. 'अब' या बाजूस तिरपी मिळेल अशी एक 'ईफ' रेषा काढा. या रेषेवर दोन टांचण्या टोंचा. नंतर या टांचण्यांकडे ठोकळयाच्या 'कड' या विरुद्ध बाजूकडून कांचेंतून पाहा. ज्या सरळ रेषेवर या टांचण्या दिसतील त्या सरळ रेषेवर 'ग' आणि 'ह' या दोन टांचण्या टोंचा. ठोकळा उचलून 'ग' आणि 'ह' या



आकृति २४६

टांचण्यामुळें होणारीं छिद्रें सांधणारी रेषा काढा. ती रेषा 'कड' या बाजूस 'ज' बिंदूत मिळेतों वाढवा. ही रेषा 'ईफ' ला समांतर आहे का पाहा. 'फ' आणि 'ज' हे बिंदू सांधा. 'फज' हा 'ईफ' किरणाचा कांचेंतील मार्ग होईल. 'अब' वर 'फ' बिंदूचे ठिकाणीं 'लफम' लंब काढा. 'फ' मध्य कल्पून 'फल' त्रिज्येनें 'नलपम' वर्तुळ काढा. हें वर्तुळ 'फई' या पतनकिरणास व 'फज' या वक्रीभूतकिरणास अनुक्रमें 'न' आणि 'प' बिंदूंत छेदूं द्या. 'न' आणि 'प' बिंदूंपासून 'लफम' वर 'नर' आणि 'पस' हे लंब काढा व त्यांची लांबी मोजा.

$\frac{\text{नर}}{\text{पस}}$ या गुणोत्तराची किंमत काढा. 'ईफ' ची दिशा बदलून हा प्रयोग तीनदां करा. $\frac{\text{नर}}{\text{पस}}$ या गुणोत्तराची किंमत म्हणजेच कांचेचा वक्रीभवन दर्शक होय.

टीपः—वक्रीभवन दर्शक $\frac{\text{कांच}}{\text{हवा}} = \frac{\text{पतन कोनाची ज्या (हवेतील कोनाची)}}{\text{वक्रीभवन कोनाची ज्या (कांचेतील को.)}}$

$$= \frac{\text{ज्या } \angle\text{नफर}}{\text{ज्या } \angle\text{पफस}}$$

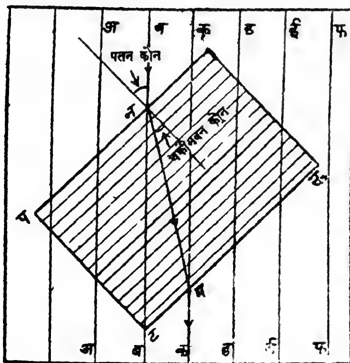
$$= \frac{\text{नर}}{\text{फन}} / \frac{\text{पस}}{\text{फप}}$$

$$= \frac{\text{नर}}{\text{फन}} \times \frac{\text{फप}}{\text{पस}}$$

$$= \frac{\text{नर}}{\text{पस}} :$$

रीत २ री.

प्रयोग २४३—'अअ', 'बब', 'कक' अशा समांतर रेषा आंखलेल्या कागदावर समांतर बाजू असलेला 'परसट' हा चौकोनी जाड कांचेचा ठोकळा असा ठेवा कीं, त्याची 'पर' ही कड कागदावरील रेषांशीं काटकोन करून असणार नाहीं. ठोकळ्याच्या 'सट' पृष्ठभागांकडून कांचेंतून कागदावरील रेषा पाहा. त्या अखंड दिसतात का, तशाच त्या समांतर दिसतात का तें पाहा. त्या अखंड नाहींत पण समांतर आहेत

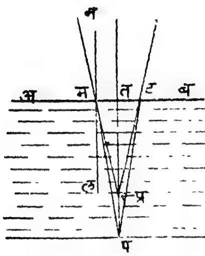


आकृति २४७

असें तुम्हांस दिसेल. कागदावरील रेषा अखंड दिसूं लागे तों टोकळा कागदावर फिरवा. व त्याची रूपरेषा बारीक पेन्सिलीनें आंखून घ्या. या वेळीं 'बब' रेषेचा 'पर' कडील भाग 'कक' रेषेच्या 'सट' कडील भागाशीं जुळलेला दिसतो. म्हणजे बब या मार्गानें येणारें किरण काचेंतून गेल्यावर 'कक' या मार्गानें जाते म्हणून त्याचा काचेंतील मार्ग 'नम' नें दर्शविला जाईल. 'न' पासून काचेच्या पृष्ठभागावर लंब काढा. पतन कोन व वक्रीभवन कोन मोजा आणि काचेचा वक्रीभवन दर्शक ठरवा.

चौकोनी कांचेचा टोकळा कागदावर ठेवून त्यांतून पाहिले असतां कांचेंतून दिसणारा कागदाचा भाग बाकीच्या कागदापेक्षां वर आलेला दिसतो; तसेंच पाण्याच्या भाड्याच्या बुडाशीं असलेला पदार्थहि वर आलेला दिसतो. या गोष्टींचा पदार्थाचा वक्रीभवन दर्शक ठरविण्याकरता पुढें दाखविल्याप्रमाणें उपयोग करतात.

'अबकड' हा काचेचा टोकळा असून त्याच्या खालीं 'प' हा पदार्थ आहे. 'प' पासून 'डक' पृष्ठभागावर 'पत' लंब काढा. 'पत' या लंबाशीं अत्यंत लहान कोन करणारी 'पम' आणि 'पट' हीं किरणें टोकळ्याच्या 'अब' पृष्ठभागास 'म' आणि 'ट' बिंदूंत मिळूं द्या. 'म' पासून 'अब' वर 'लमन' हा लंब काढा. ज्या अर्थी हवेंतून काचेंत शिरणारें किरण लंबाकडे वळतें, त्या अर्थी काचेंतून हवेंत जाणारें किरण लंबापासून दूर वळले पाहिजे, म्हणजे '∠यमन' हा वक्रीभवन कोन '∠पमल' या पतन कोनापेक्षां मोठा असला पाहिजे. व 'पम' या मार्गानें काचेंतून येणारें किरण मय या मार्गानें हवेंत गेलें पाहिजे.



आकृति २४८

∠यमन = ∠लमप्र = ∠मप्रत

व ∠लमप = ∠मपत

कांचेचा वक्रीभवन दर्शक.

$$\frac{\text{कांच}}{\text{हवा}} = \frac{\text{हवेंतील कोनाची ज्या}}{\text{काचेंतील कोनाची ज्या}}$$

$$= \frac{\text{ज्या } \angle \text{यमन}}{\text{ज्या } \angle \text{पमल}}$$

$$= \frac{\text{ज्या } \angle \text{मप्रत}}{\text{ज्या } \angle \text{मपत}}$$

$$= \frac{\text{तम}}{\text{मप्र}} \Big/ \frac{\text{तम}}{\text{मप}}$$

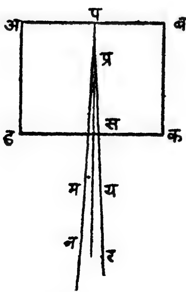
$$= \frac{\text{मप}}{\text{मप्र}}$$

$$= \frac{\text{तप}}{\text{तप्र}}$$

कारण ज्या वेळीं कोन फार लहान असतात त्यावेळीं पाया व कर्ण जवळ जवळ सारखेच असतात.

यावरून असें दिसून येईल कीं, **वक्रीभवन दर्शक हा खरी खोली व दृश्य खोली यांच्या गुणोत्तरा बरोबर असतो.**

प्रयोग २४४—चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. त्यावर काचेच्या टोकळयाच्या उंचीची एक सुई टोंचा. सुईस लागूनच चौकोनी, जाड काचेचा टोकळा ठेवा. त्याची रूपरेषा 'अबकड' ही बारीक पेन्सिलीनें आंखून घ्या. 'कड' पृष्ठभागांतून, 'प' च्या किंचित् डाव्या बाजूनें व 'सप' शीं अत्यंत लहान कोन करून पाहिलें असतां ज्या सरळ रेषेवर प ही सुई दिसेल त्या रेषेवर 'म' आणि 'न' या दोनटांचण्या टोंचा. त्याचप्रमाणें 'सप' च्या उजव्या बाजूनें 'सप' शी तितक्याच अंशांचा कोन करून पाहून 'य' आणि 'र' टांचण्या टोंचा. टांचण्या व टोकळा काढून घेऊन टांचण्यामुळें झालेलीं 'न', 'म' आणि 'र',



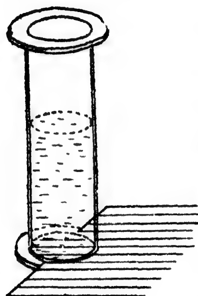
आकृति २४९

'य' हीं छिद्रें सांधणाऱ्या रेषा काढा. त्या एकमेकींस 'सप' वर प्र बिंदूंत छेदीतों पुढें वाढवा, म्हणजे 'प्र' ही 'प' च्या प्रतिमेची जागा सांपडेल. (किंवा टोकळ्याचे वरचे बाजूस दुसरी सुई उभी धरून स्थलभेद पद्धतीनें प्रतिमेची जागा ठरवा). कड पासून 'प' आणि 'प्र' चीं अंतरें मोजा.

$$\text{वक्रीभवन दर्शक} = \frac{\text{खरें अंतर}}{\text{दृश्य अंतर}} = \frac{\text{सप}}{\text{सप्र}} \; :$$

पाण्याचा वक्रीभवनदर्शक ठरविणें.

प्रयोग २४५—वायुपात्राच्या (Gas jar) च्या बुडाशीं बरोबर बसेल असा, समान अंतरावर समांतर रेषा आंखलेल्या कागदाचा वर्तुलाकार तुकडा कापा. तो भांड्याच्या बुडाशीं ठेवा व भांडें पाण्यानें भरा. त्याच भांड्याच्या बाहेरील अंगास बरोबर लागून राहील असा अर्धवर्तुलाकार दुसरा तुकडा त्याच कागदातून कापा. हा तुकडा भांड्याच्या बुडाशीं बाहेरील अंगानें ठेवा. दोन्ही कागदाच्या तुकड्यावरील रेषा समसमान अंतरावर आहेत का पाहा. त्या समसमान अंतरावर नाहींत असें दिसेल. व भांड्यांतील कागदावर असणाऱ्या रेषा बाहेरील कागदावर असणाऱ्या रेषांपेक्षां दूरदूर आहेत असें दिसेल. दोन्ही कागदावर असणाऱ्या रेषांमधील अंतर सारखें दिसेतों बाहेरील कागदाचा तुकडा वर सरकवा. पाण्याच्या पृष्ठभागापासून दोन्ही तुकड्यांची खोली मोजा.



आकृति २५०

$$\text{वक्रीभवनदर्शक } {}_{\text{हवा}}\mu_{\text{पाणी}} = \frac{\text{खरी खोली}}{\text{दृश्य खोली}}$$

$$= \frac{\text{पाण्याच्या सपाटीपासून आंतील तुकड्याचें अंतर}}{\text{पाण्याच्या सपाटीपासून बाहेरील तुकड्यांचें अंतर}}$$

भूमितीच्या सहाय्यानें वक्रीभूत किरणांचा मार्ग ठरविणें.

समजा 'ईफ' हें पतनकिरण काचेच्या ठोकळ्याचा 'अब' पृष्ठ भागावर पडत असून "पतनकोन" ४०°चा आहे, व कांचेचा वक्रीभवन-दर्शक $\frac{३}{२}$ आहे.

'अब' वर फ या पतनबिंदूपासून काढलेल्या लंबाच्या ज्या बाजूस पतनकिरण असेल त्या बाजूला 'फ' पासून वाटेल त्या मापानें 'फट' तीन भाग व त्याचमापानें दुसऱ्या बाजूस फठ दोन भाग मोजून घ्या. ट पासून पतन किरणाचें बाजूस 'अब' वर लंब काढा. हा ईफ या पतन किरणास 'न' बिंदूंत छेदूं द्या. ठ पासून 'अब' वर याचे विरुद्ध बाजूस ठल लंब काढा. फ हा मध्य कल्पून फन त्रिज्येनें एक वर्तुळ काढा. हें 'टल' ला 'प' बिंदूंत छेदूं द्या. 'फप' जोडा. म्हणजे वक्रीभूत किरणाचा मार्ग मिळेल.

आकृति २५१

टीपः—'न' आणि 'प' पासून 'फ' बिंदूतून 'अब' वर काढलेल्या लंबावर 'नर' आणि 'पस' हे लंब काढा.

$$\mu = \frac{३}{२} = \frac{\text{टफ}}{\text{ठफ}} = \frac{\text{नर}}{\text{पस}} = \frac{\text{पतनकोनाची ज्या}}{\text{वक्रीभवनकोनाची ज्या}}$$

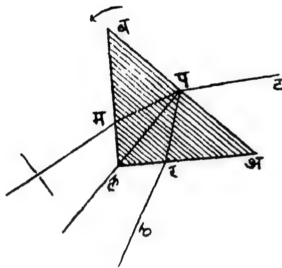
क्रांतिकोन (Critical angle) पाण्यातून जाणारें किरण हवेंत शिरतांना लंबापासून दूर वळतें व पतनकोन जसजसा वाढत जाईल तसतसा वक्रीभवनकोन वाढत जातो या दोन्ही गोष्टी आपण मागें पाहिल्याचआहेत.

'प' या पाण्यांतील बिंदूपासून पाण्याच्या पृष्ठभागाच्या खालच्या भागावर पडणाऱ्या किरणांचा पतनकोन जसजसा

आकृति २५२

वाढत जाईल तसतसा वक्रीभवन कोनहि वाढत जाईल व शेवटीं अशी वेळ येईल कीं वक्रीभवन कोन ९०°चा होईल म्हणजे वक्रीभूत किरण पाण्याच्या पृष्ठभागास लागूनच जाईल. पण पतनकोन जर याहिपेक्षां मोठा केला तर पतनकिरणांचें काय होतें हें आतां पाहावयाचें आहे.

प्रयोग २४६—एका बारीक फटींतून येणाऱ्या सूर्यप्रकाशाच्या मार्गांत आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एक त्रिकोणी पार्श्व ठेवा. ' अब ' पृष्ठभागावर पार्श्वांतून येणाऱ्या मप किरणाचा ∠मपल हा पतनकोन जर लहान असेल तर सूर्यकिरणाचे दोन भाग होतील. एक भाग परावर्तन पावून ' र ' कडे व नंतर ' ठ ' कडे जाईल व दुसरा कांचेतून बाहेर पडतांना वक्रीभवन पावून 'ट' कडे जाईल. या दोन्ही किरणांच्या मार्गांत घाशीव कांचेचे पडदे ठेवा.



आकृति २५३

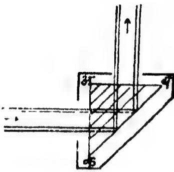
∠मपल वाढत जाईल अशा रीतीनें म्हणजे बाणानें दाखविलेल्या दिशेनें पार्श्व हळूहळू फिरवा. 'पट' आणि ' परठ ' या किरणांमुळें उत्पन्न होणाऱ्या प्रतिमा सारख्या दिसाव्यांत म्हणून पडदे हळूहळू फिरवा. पडद्यावर दिसणाऱ्या प्रतिमांचें नीट निरीक्षण करा. ∠मपल हा कोन वाढत जाता जातां अशी एक स्थिति येईल कीं कांचेतून बाहेर पडणाऱ्या ' पट ' किरणामुळें दिसणारी प्रतिमा अजीबात दिसेनाशी होईल. व तत्क्षणींच ' परठ ' किरणांमुळें उत्पन्न होणारी प्रतिमा एकदम अधिक तेजस्वी दिसूं लागेल.

ज्या अर्थी ' पट ' या कांचेतून बाहेर पडणाऱ्या किरणांमुळें उत्पन्न होणारी प्रतिमा अजीबात नाहींशी होते व त्याच वेळीं ' परठ ' या परावृत्त किरणामुळें उत्पन्न होणारी प्रतिमा अधिक तेजस्वी होते, त्या अर्थी या स्थितींत पार्श्व असता ' प ' येथें पडणारा सर्व प्रकाश परावृत्तच होत असला पाहिजे. अशा वेळीं होणाऱ्या ∠मपल या कोनास **क्रांतिकोन** (critical angle) म्हणतात.

यावरून दिसून येईल कीं पाणी अथवा कांच या सारख्या घनमाध्यमांतून हवेसारख्या विरल माध्यमांत किरण जात असतां जर पतनकोन क्रांतिकोनापेक्षां मोठा होत असेल तर तें किरण विरल माध्यमांत न जातां घनमाध्यमांतच परावर्तन पावतें. अशा परावर्तनास **'अंतर्गत पूर्ण परावर्तन'** (Total internal reflection) म्हणतात.

पूर्ण परावर्तनाचे कांहीं व्यावहारिक उपयोग.

प्रकाशलेखनयंत्रांतील भिंगासमोर पदार्थ आला आहे किंवा नाहीं हें पाहण्याकरतां, भिंगाचे डावे बाजूस एक लहान डबी असते. या डबींत एक त्रिकोनी पार्श्व आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें बसविलेला असतो;पदार्थापासून येणारीं क्षितिजसमांतर किरणें 'अक' पृष्ठभागावर लंब रूपानें पडत असल्यानें तीं आपली दिशा न बदलता पार्श्वांत शिरतात व 'बक' पृष्ठभागाशीं ४५° अंशांचा कोन करतात. हा कोन कांचेच्या क्रांतिकोनापेक्षा मोठा असल्यानें किरणें पार्श्वाच्या बक पृष्ठभागातून बाहेर न पडतां तीं परावर्तन पावतात; व 'अब' पृष्ठभागाशीं काटकोन करून बाहेर पडतात. यामुळें प्रकाशलेखनयंत्रांतील भिंगासमोर पदार्थ आला आहे किंवा नाहीं हें वरून पाहाणाऱ्या माणसास समजतें.



आकृति २५४

(२) दुकानांतील जाहिराती जितक्या आकर्षक करतां येतील तितक्या करण्याचे प्रयत्न चालू आहेत. प्रत्यक्ष जाहिरात कोठें लाविली आहे हें लोकांस दिसू न देता जाहिरात दाखविणें हा त्या आकर्षक करण्याचा एक मार्ग आहे. यांत ज्याचा छेद (section) समद्विभुज–काटकोन–त्रिकोन असेल अशा पार्श्वाचा काटकोन समाविष्ट करणारा पृष्ठभाग जाहिरातींतील अक्षरें व इतर महत्त्वाचा भाग मोकळा राहील अशा रीतीनें अभारदर्शक केलेला असतो. जाहिरातींत परावर्तनामुळें दिसावयाची असल्यानें हीं अक्षरें उलट असावीं लागतात. पार्श्वाचा हा भाग प्रकाशित केल्यानें अक्षरातून जाणारा प्रकाश तिरप्या बाजूवर परावर्तन पावून दुसऱ्या बाजूकडून बाहेर पडतो व या बाजूपुढें असणाऱ्या माणसास जाहिरात कांचेत दिसते पण कांचेवर काढलेली मात्र दिसणार नाहीं.

किरण घन माध्यमांतून विरल माध्यमात जात असतां ज्या वेळीं वक्रीभवनकोन ९०° होईल त्या वेळीं घनमाध्यमांतील किरणानें केलेल्या पतनकोनास क्रांतिकोन म्हणतात.

$$_{\text{हवा}}\mu^{\text{कांच}} = \frac{\text{हवेंतील कोनाची ज्या}}{\text{काचेंतील कोनाची ज्या}} = \frac{\text{ज्या } 90^\circ}{\text{ज्या क्रांतिकोन}}$$

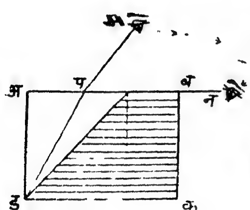
$$\therefore \text{ ज्या } 90^\circ = 1$$

$$\therefore \mu = \frac{1}{\text{क्रांतिकोनाची ज्या}}$$

किंवा क्रांति कोनाची ज्या (sine), $\frac{1}{\text{वक्रीभवन दर्शक}}$ याचे बरोबर असेल त्या कोनास क्रांतिकोन म्हणतातः—

कांचचा क्रांतिकोन ठरविणें:—

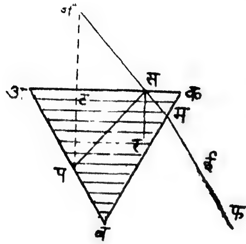
प्रयोग २४७— अबकड या चौकोनी ठोकळ्याची अरुंद बाजू 'अड' ही खिडकीकडे करून टेबलावर ठेवा व त्याची समरेषा आंखून घ्या. अब या पृष्ठ भागाकडे 'म' येथून पाहा. 'अब' या पृष्ठ भागाचे अप ही चकचकीत आणि 'पब' हा अंधुक असे दोन विभाग झालेले दिसतील. 'ड' या कोपऱ्यावरून बोट वरखालीं फिरवा व 'अब' पृष्ठभागावर ते कोठें शिरतांना दिसते तें पाहा. ते चकचकीत व अंधुक विभागास विलग करणाऱ्या रेषेवर म्हणजे 'प' येथील उभ्या रेषेवर वरखालीं फिरतांना दिसेल. यावरून 'ड' पासून निघालेली व आपल्या डोळ्याकडे येणारी किरणें 'प'मधून बाहेर पडतात. डोळा हळूहळू बाणांनीं दाखविलेल्या दिशेनें 'म' कडून 'न' कडे न्या. व 'प' हा बिंदू कोणीकडे सरकतो ते पाहा. तो 'ब' कडे हळूहळू सरकतो असें दिसेल. शेवटीं 'नब' दिशेनें पाहून 'प' जेथें दिसेल तेथें म्हणजे 'प' येथें खूण करा. कांचेचा ठोकळा उचलून घेऊन 'ड'



आकृति २५५

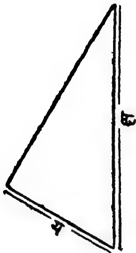
'फ' सांधा व 'फ' पासून 'अब' वर 'फट' लंब काढा. ∠कफट मोजा. हा काचेचा क्रांतिकोन असेल, कारण 'ड' पासून निघालेलें 'डफ' किरण कांचेतून बाहेर पडल्यावर 'फब' मार्गाने जातें म्हणजे वक्रीभवन कोन ९०° चा करतें.

प्रयोग २४८—'अबक' हा त्रिकोनी पार्श्व कागदावर उभा ठेऊन त्याची समरेषा आंखून घ्या. त्याच्या 'अब'चा कडेस लागून 'प' ही टाचणी टोंचा. 'प'ची प्रतिमा 'बक' या पृष्ठभागांतून पाहा. ती पाहाताना डोळा 'ब' कडून 'क'कडे न्या. ज्या रेषेवर 'प'ची अगदीं अंधुक प्रतिमा पहिल्यानेंच दिसूं लागेल. त्या रेषेवर 'ई' आणि 'फ' या टाचण्या टोंचा. यावेळीं 'ईफ' च्या डाव्या बाजुनें पाहिल्यास 'प'ची प्रतिमा मुळींच दिसणार नाहीं. पण उजव्या बाजूनें पाहिल्यास ती स्पष्ट दिसेल. पार्श्व उचलून घ्या. 'फई' सांधा व 'बक' बाजूस 'म' बिंदूस मिळेतों वाढवा. 'प'पासून 'अक' वर पट लंब काढा व पट = टन इतका पुढें वाढवा. 'नम' सांधा. 'नम' 'अक'ला ज्या बिंदूत छेदते त्यास 'स' नांव द्या. पम सांधा. ∠पसम मोजा व त्याची निम्मे करा म्हणजे कांचेचा क्रांतिकोन मिळेल.



आकृति २५६

ज्या अर्थीं 'ईफ'च्या डाव्या बाजुनें पाहिल्यास 'प'ची प्रतिमा दिसत नाहीं पण उजव्या बाजुनें पाहिल्यास ती स्पष्ट दिसते त्या अर्थीं ∠पसम = (१ ∠ पसम) पेक्षां पतन कोन लहान भरणारीं 'प'पासून निघालेली किरणें 'अक'वर परावर्तन न पावतां हवेंत निघून जात असली पाहिजेत व ∠सगब पेक्षां पतन कोन मोठा करणारीं किरणें 'अक' वर परावर्तन पावून 'बक'कडे येत असली पाहिजेत म्हणून ∠पसर हा क्रांति कोन असला पाहिजे.



आकृति २५७

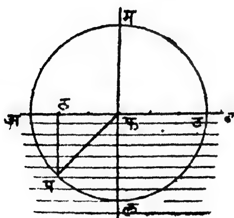
भूमितीनें—

समजा वक्रीभवनदर्शक $(u) = \frac{क्ष}{य}$

क्रांतिकोनाची ज्या $= \frac{१}{व.\ भ.\ दर्शक} = \frac{१}{u} = \frac{१}{\frac{क्ष}{य}} = \frac{य}{क्ष}$,

म्हणून 'य' इतक्या लांबीची 'अब' रेषा काढा. तिच्याशी काटकोन करणारीं बप रेषा काढा. 'अ' मध्य कल्पून 'क्ष' येवढ्या त्रिज्येनें वर्तुळ काढा ते 'बप'ला 'क' बिंदूंत छेदूं द्या. अक सांधा. म्हणजे 'अबक' हा क्रांतिकोन मिळेल. [ज्या |अकब $= \frac{य}{क्ष} = \frac{१}{\frac{क्ष}{य}} = \frac{१}{४}$]

अथवा दोन मध्यमास (कांच व हवा) वेगळें करणाऱ्या 'अब' या पातळीवर कोठें 'फ' बिंदू घ्या. 'अब' वर 'फ'च्या एका बाजूस वाटेल त्या मापानें वक्रीभवनदर्शक दर्शविणाऱ्या अपूर्णांकाच्या अंशाइतकें त दुसऱ्या बाजूस छेदाइतके विभाग मोजून घ्या. (एका बाजूस तीन दुसऱ्या बाजूस दोन विभाग मोजून घ्या.) तेथें 'ट' आणि 'ठ' अशीं नांवें द्या. फ मध्य कल्पून 'फट' त्रिज्येनें 'टमप' वर्तुळ काढा. 'ठ' पासून 'अब' वर लंब काढा. वर्तुळास 'प' बिंदूंत छेदांनीं पुढें वाढवा. 'पफ' सांधा म्हणजे पफ ही कांचेंतील किरणांची दिशा होईल व फट ही हवेंतील किरणाची दिशा होईल. म्हणजे |पफल हा क्रांतिकोन होईल.

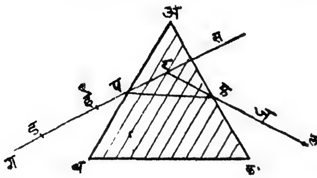


आकृति २५८

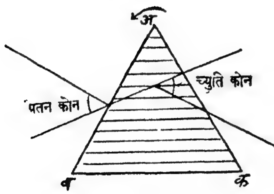
$$\left[\text{ज्या} \underline{|\text{पफल}} = \text{ज्या} \underline{|\text{फपठ}} = \frac{\text{फठ}}{\text{फप}} = \frac{२}{३} = \frac{१}{\frac{२}{३}} = \frac{१}{M} \right]$$

त्रिकोनी पार्श्वातून जाणाऱ्या किरणाचा मार्ग ठरविणें.

प्रयोग २४९—फळयावर एक कागद पक्का बसवा. त्यावर अबक हा त्रिकोनी पार्श्व ठेवा. पार्श्वाच्या 'अब' बाजूस तिरपी येऊन मिळणाऱ्या 'गई' रेषेवर ' ड ' आणि ' ई ' जागीं टांचण्या टोंचा. ' अक ' बाजूंतून ' ड ' आणि ' ई ' या टांचण्याच्या पार्श्वांत दिसणाऱ्या प्रतिमा पाहा व त्याच्या सरळ रेषेतच ' ज ' आणि ' ल ' या दोन टांचण्या टोंचा. पार्श्वाची रूपरेषा बारीक पेन्सिलीनें आंखून घ्या, व पार्श्व उचला. ' ड ' आणि ' ई ' साधणारी ' डई ' रेषा व 'ज' आणि ' ल ' सांधणारी ' जल ' या रेषा पार्श्वाच्या ' अब ' आणि ' अक ' कडास अनुक्रमें ' प ' आणि ' फ ' बिंदूत मिळू द्या. 'पफ' सांधा म्हणजे ' डई ' किरणाचा पार्श्वातून जाण्याचा ' पफ ' मार्ग सांपडेल. ' डई ' – रेषा 'स' पर्यंत पुढें वाढवा जल–रेषा तिला र बिंदूत मिळू द्या. $\underline{|\text{सरल}}$ यास च्युतिकोन (angle of deviation) म्हणतात.



आकृति २५९

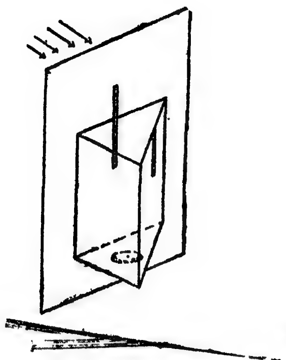


आकृति २६०

लघुतम च्युतिकोन ठरविणें.

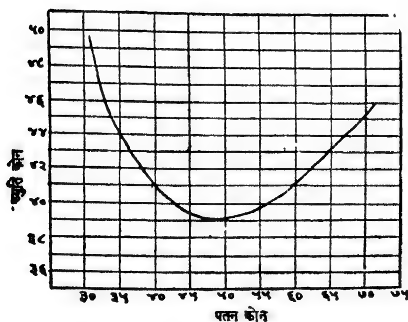
प्रयोग २५०—एका चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. ज्याचा आडवा छेद (cross section) समभुज त्रिकोण असेल अशा समपार्श्वाचें बूड ड्रॉइंग पिन (Drawing pin) च्या डोक्यास चिकटवा. ही टांचणी फलकावरील कागदाच्या मध्यभागीं टोंचा म्हणजे पार्श्व या टांचणीभोंवतीं फिरविता येईल. पार्श्वाच्या एका बाजूसमोर पार्श्वाच्या

उंचीपेक्षां अधिक उंचीची बारीक फट असलेला खरडा उभा ठेवा. या फटींतून सूर्यप्रकाश पार्श्वावर पाडा. फटींतून येणाऱ्या प्रकाशापैकीं कांहीं भाग पार्श्वातून व कांहीं प्रत्यक्ष पुढें जाईल. पार्श्वाच्या मागें एक मोठा घाशीव काचेचा पडदा ठेवा. या पडद्यावर फटीसारखे दोन प्रकाशित भाग दिसतील. एक प्रत्यक्ष येणाऱ्या प्रकाशामुळे व दुसरा पार्श्वातून येणाऱ्या प्रकाशामुळें प्रकाशित झालेला असेल. पार्श्वातून येणाऱ्या प्रकाशामुळें प्रकाशित झालेल्या भागांत कांहीं रंग दिसतात का पाहा. 'अब' पृष्ठभागावर फटींतून



आकृति २६१

येणाऱ्या किरणांमुळें होणारा पतनकोन महत्तम होईल अशा स्थितींत पार्श्व ठेवा. प्रत्यक्ष जाणाऱ्या व पार्श्वातून जाणाऱ्या किरणांच्या मार्गांत होणारा कोन (च्युतिकोन) किती अंशांचा आहे तें पाहा. पतनकोन लहान लहान होईल अशा रीतीनें पार्श्व हळू हळू फिरवा व च्युतिकोनांत काय फरक होतो तो पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं पतनकोन जसजसा कमी होतो तसतसा च्युतिकोन देखील कमी होतो, पण शेवटीं अशी



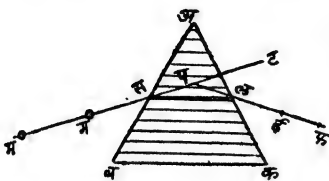
आकृति २६२

एक स्थिति येते कीं त्यानंतर पार्श्व त्याच दिशेनें फिरविला तरी च्युतिकोन लहान न होतां पुनः मोठा होऊं लागतो. अशा वेळीं जो च्युतिकोन होतो तो सर्वांत लहान असल्यामुळें त्यास **लघुतम च्युतिकोन**

(angle of minimum deviation) म्हणतात. एका अक्षावर पतनकोन व एकावर च्युतिकोन घेऊन पतनकोन व च्युतिकोन यांचेमधील संबंध दाखविणारा आलेख काढल्यास हीच गोष्ट दिसून येईल. हा कोन (च्युति-कोन) पार्श्व ज्या पदार्थाचा असेल त्यावर व पार्श्वाच्या वक्रकारी कोनावर (refracting angle) अवलंबून असतो.

लघुतम च्युतिकोन ठरविणें:—

प्रयोग २५१—एका चित्रफलकावर एक कागद घट्ट बसवा. ज्याचा छेद समभुज अथवा समद्विभुज त्रिकोण असेल असा ‘ अबक ’ हा पार्श्व ड्रॉइंगपिनच्या डोक्यास चिकटवा. ही टाचणी फलकावरील कागदावर टोंचा. ‘ अब’ बाजूशीं पार्श्वाच्या पायाचे बाजूस लघुकोन करणाऱ्या रेषेंवर ‘ म ’ आणि ‘ ग ’ या टांचण्या टोंचा. या टांच-ण्याच्या प्रतिमावर दृष्टी कायम ठेवून ड्रॉइंगपिनमुळें तयार झालेल्या आंसावर पार्श्व हळूहळू फिरवा. तुम्हास असें आढळून येईल कीं ज्या रेषेवर ‘म’ आणि ‘ग ’च्या प्रतिमा दिसतात ती रेषा एका विवक्षित मर्यादेपर्यंत ‘ मग ’ किर-णाच्या मार्गाचे बाजूस झुकत जाते व त्यानंतर पार्श्व जरी त्याच दिशेनें फिरविला तरी ती ‘मग’च्या दिशेपासून दूर दूर जाऊं लागते. ती ‘ मग ’ दिशेच्या सर्वांत जवळ ज्या वेळीं गेलेली असेल त्या वेळीं तिचेवर ‘ ई ’ आणि ‘ फ ’ या दोन टांचण्या टोंचा व पार्श्वाची रूपरेषा आंखून घ्या. पार्श्व काढून घेऊन मग–आणि फई–रेषा एकमेकींस ‘ प ’ बिंदूत छेदूं द्या. व त्यांमधील कोन टपई मोजा. हाच त्या पार्श्वाचा लघुतम च्युतिकोन होय.



आकृति २६३

‘ मग ’ ‘ अब ’ ला ‘ स ’ बिंदूत व ‘ फई ’ ‘ अक ’ ला ‘ ल ’ बिंदूत छेदूं द्या. ‘ सल ’ सांधा.

लघुतम च्युतिकोनाच्या स्थितींत पार्श्व असतां (१) ‘सल’ही ‘बक’ पायास समांतर आहे का, (२) |ममब हा |फलक बरोबर आहे का हें पाहा. निरनिराळे पार्श्व घेऊन हाच प्रयोग करा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं

पार्श्व समभुज अथवा समद्विभुज असून तो लघुतम च्युतिकोनाच्या स्थितींत ठेवला असेल तर (१) त्यांतून जाणाऱ्या किरणाचा मार्ग त्याच्या पायास समांतर असतो. (२) मग—या पतनकिरणानें केलेला |ममब हा 'ईफ' या पार्श्वांतून बाहेर जाणाऱ्या किरणानें केलेल्या |फलक बरोबर असतो.

पार्श्वाच्या साहाय्यानें कांचेचा वक्रीभवनदर्शक ठरविणें.

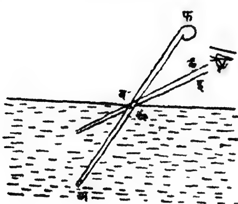
प्रयोग २५२—मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें दिलेल्या पार्श्वाचा लघुत्तमच्युतिकोन व वक्रकारी कोन मोजा व पुढील सूत्राने वक्रीभवनदर्शक ठरवा.

$$\text{वक्रीभवनदर्शक } \mu = \frac{\text{ज्या } \dfrac{\text{पार्श्वाचा वक्रकारी कोन + लघुतमच्युतिकोन}}{२}}{\text{ज्या } \left(\dfrac{\text{वक्रकारी कोन}}{२}\right)}$$

वक्रीभवनामुळें दिसणारे कांहीं सृष्ट चमत्कार.

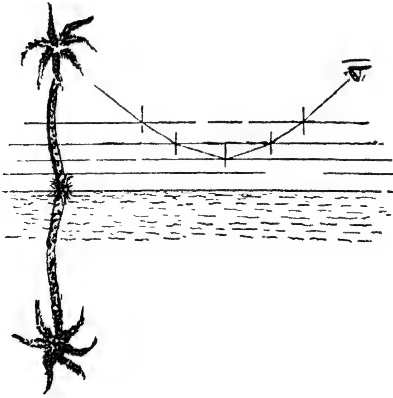
(१) पाण्याच्या सपाटीशीं लघुकोन करून पाण्यात काटी बुडविली असतां म्हणजे काटी पाण्यांत तिरपी बुडविली असता ती पाण्याच्या पृष्ठ-भागाशीं मोडलेली दिसते.

समजा 'फअ' ही काटी पाण्यांत तिरपी बुडविलेली आहे. तिच्या पाण्या-तील म्हणजे 'अ' टोकापासून निघालेली 'अब' आणि 'अक' हीं किरणें पाण्यांतून बाहेर पडल्यावर 'बड' आणि 'कई' या मार्गांनीं—लंबापासून दूर वळून—जातील, व 'डई' येथून पाहाणाऱ्या माणसास काटीचें 'अ' टोंक 'डब'—व 'ईक'—या रेषा पुढें वाढवून ज्या जागीं मिळतील तेथें म्हणजे 'म' येथें दिसेल. म्हणून 'डई' येथून पाहाणाऱ्या माणसास काटी 'फबअ' अशी न दिसतां 'फबम' या आकाराची म्हणजे मोडलेली दिसेल.



आकृति २६४

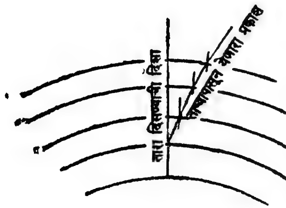
मृगजल:—हा सृष्ट चमत्कार बहुधा वालुकामय मैदानांत दृष्टीस पडतो. उन्हाळ्यांत तापलेल्या जमिनीजवळील हवेचा थर फारच तापलेला असतो. व त्यामुळें त्याची घनता त्याचेवर असणाऱ्या दुसऱ्या थरापेक्षा कमी असते. याच कारणामुळें या दुसऱ्या थराची घनता त्याचेवर असणाऱ्या तिसऱ्या थराच्या घनतेपेक्षां कमी असते. अथवा जसजसें आपण वर वर जाऊं तसतसें हवेचे थर अधिकाधिक घन होत जातात. ताडाच्या किंवा शिंदीच्या झाडाच्या शेंड्यापासून निघालेलीं किरणें अधिक घनतेच्या थरातून कमी घनतेच्या थरात शिरतात व म्हणून तीं लंबापासून दूर वळतात. याप्रमाणें तीं एका थरातून दुसऱ्या थरात जातांना पतनकोन वाढत जातो व शेवटीं तो क्रांतिकोनापेक्षा मोठा झाल्यामुळें किरणें परावृत्त होतात. हीं परावृत्त किरणें वर वर जातांना कमी घनतेच्या थरातून अधिक घनतेच्या थरांत शिरत असल्यानें तीं लंबाकडे वळतात व ही क्रिया तीं किरणें आपल्या डोळ्यापर्यंत येईतों चालू असते; व म्हणून झाडाचा शेंडा ज्या दिशेनें आपल्या डोळ्यात किरणें शिरतात त्या दिशेनें आपणांस दिसूं लागतो. म्हणजे तो जमीनीचे खालीं आहे असा भास होतो. आकाशापासून येणारा प्रकाशहि याच रीतीनें वक्रीभवन व परावर्तन पावत असल्यानें झाडाच्या प्रतिमेच्या मागें निळें आकाश दिसतें व म्हणून झाडाची प्रतिमा पाण्यांत पडल्यासारखी दिसते.



आकृति २६५

(३) तारा किंवा सूर्य वास्तविक ज्या ठिकाणीं असतो त्यापेक्षां तो अधिक वर दिसतो.

जसजसें आपण वर वर जाऊं तसतशी हवेची घनता कमी कमी होत जाते. त्यामुळें ताऱ्यासारख्या आकाशांतीलपदार्थां-पासून येणाऱ्या प्रकाशाचें वक्रीभवन होतें, व तो पदार्थ अधिकाधिक वर दिसूं लागतो. याप्रमाणें ' अ ' या ताऱ्यापासून येणारा प्रकाश ' ब ' पासून येत आहे असा भास होतो.



आकृति २६६

प्रश्नसंग्रह २४ वा.

(१) वक्रीभवन म्हणजे काय, याची थोडक्यांत माहिती सांगा.

(२) प्रकाशकिरणें एका माध्यमातून दुसऱ्या माध्यमांत शिरतांना आपला मार्ग बदलतात हें सिद्ध करण्याकरतां दोन प्रयोग लिहा.

(३) वक्रीभवनदर्शक, अंतर्गत पूर्ण परावर्तन, क्रांतिकोन, च्युतिकोन म्हणजे काय हें नीट समजावून सांगा.

(४) वक्रीभवनाचे नियम सांगा व ते सिद्ध करण्याकरतां प्रयोग लिहा.

(५) कांचेचा वक्रीभवनदर्शक कसा ठरवाल ? तो ठरविण्याच्या दोन रीति लिहा.

(६) भांड्याच्या बुडाशीं एक नाणें भांड्याच्या कांठानें जेमतेम दृष्टीआड होईल अशा जागीं ठेवलें आहे. भांड्यांत पाणी ओततांच तें दिसूं लागतें, तें कां ? हें आकृती काढून नीट समजावून सांगा.

(७) ५ सें. मी. जाडीच्या काचेच्या चौकोनी ठोकळ्याच्या वरच्या पृष्ठभागाशीं ४०° अंशांचा कोन करून एक किरण पडतो. ठोकळ्याचा खालचा पृष्ठभाग चांदी लावून परावर्तक केला असल्यास किरणाचा ठोक-ळ्यांतील सपूर्ण मार्ग दाखविणारी आकृति काढा.

$_{हवा}\mu_{कांच} = \frac{3}{2}$

(८) पाण्यानें भरलेल्या कांचेच्या भांड्यांत एक पारदर्शक त्रिकोणी पोकळ पार्श्व ठेवला आहे. पाण्यांतील व पार्श्वांतील किरणमार्ग दाखवा. पाण्याचा वक्रीभवन दर्शक = $\frac{4}{3}$:

(९) तळ्यांत, पाण्याच्या सपाटीखालीं असलेल्या माणसास उगवता सूर्य पहावयाचा असल्यास त्यानें क्षितिजसमांतर पातळीशीं किती अंशांचा कोन करून पाहिलें पाहिजे ? $_{\text{हवा}}\mu_{\text{पाणी}} = \frac{४}{३}$:

(१०) बर्फाचा मोटा खडा घेतल्यास तो पारदर्शक असतो. परंतु त्याचा भुगा केल्यास तो अपारदर्शक व पांढरा दिसूं लागतो याचें कारण काय ? भुगा पारदर्शक करावयाचा असल्यास काय केलें पाहिजे ?

(११) पाण्यांत दिसणाऱ्या माशास मारण्याकरतां धरावयाचा नेम त्याचेवर (above) धरला पाहिजे कीं खालीं, हें आकृति काढून समजावून सांगा.

(१२) पाण्यांतून हवेंत जाणारीं किरणें पाण्याच्या पृष्ठभागावर अनुक्रमें ३० व ६० अंशांचे कोन करून पडत असल्यास त्याचे पृष्ठभागावर पडल्यानंतरचे मार्ग आकृति काढून दाखवा.

(१३) दिलेल्या पार्श्वाच्या साहाय्यानें क्रांतिकोन कसा ठरवाल ? क्रांतिकोन माहित असल्यास कांचेचा वक्रीभवनदर्शक कसा निश्चित कराल ?

(१४) घन माध्यमाचा वक्रीभवनदर्शक माहित असल्यास आकृतीचे साहाय्यानें त्याचा क्रांतिकोन कसा ठरवाल ?

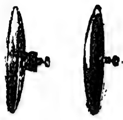
(१५) १५ सें. मी. बाजू असलेल्या पारदर्शक घनांत एक हवेचा बुडबुडा आहे. एका पृष्ठभागांतून पाहिल्यास तो त्या पृष्ठभागापासून ६ सें. मी. अंतरावर दिसतो व त्याच्या विरुद्ध पृष्ठभागातून पाहिल्यास त्याचेपासून तो ४ सें. मी. अंतरावर दिसतो. तर त्याचें पहिल्या पृष्ठभागापासून खरें अंतर काय ? या पक्षावरून त्या पारदर्शक पदार्थाचा वक्रीभवनदर्शक ठरवा.

(१६) किरणें मूळ दिशेशीं काटकोन करून परावृत्त करावयाचीं असल्यास काटकोनी समद्विभुज पार्श्व वापरतात तो कां हें आकृति काढून दाखवा. आरशाच्या ऐवजीं पार्श्व वापरण्यांत काय फायदा आहे ?

प्रकरण २५ वें.

गोल आरसे (Spherical Mirrors).

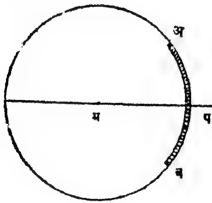
हें आरसे मोठ्या गोलांचे भाग असल्यामुळें यांना गोल आरसे म्हणतात.



आकृति २६७

हे दोन प्रकारचे असतात. **अंतर्गोल** (concave) व **बाह्यगोल** (convex). प्रकाशाचें परावर्तन आरशाच्या खोलगट अथवा आंतील भागावरून होत असेल तर त्याला अंतर्गोल आरसा (concave mirror) व फुगीर अथवा बाहेरील भागावरून होत असेल तर त्याला बाह्यगोल आरसा (convex mirror) म्हणतात.

ज्या गोलाचा 'अब' हा आरसा एक भाग आहे त्या गोलाच्या मध्यबिंदूस, म्हणजे 'म' या बिंदूस **वक्रतेचा मध्य** (centre of curvature),



आकृति २६८

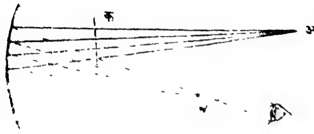
'म' पासून आरशावरील कोणत्याहि बिंदूच्या अंतरास **वक्रतेची त्रिज्या** (radius of curvature), आरशाच्या मध्यबिंदूला म्हणजे 'प'ला ध्रुव (pole) व 'प' आणि 'म' म्हणजे ध्रुव आणि वक्रतेचा मध्य यांना सांधणाऱ्या रेषेस **मुख्य आंस** (principal axis) याप्रमाणें नांवें दिलीं आहेत.

वक्रतेचा मध्य व आरशावरील कोणचाहि बिंदू यांना सांधणारी रेषा ही आरशावर त्या बिंदूचे ठिकाणीं लंब असते.

ज्याप्रमाणें वर्तुळाचा परिघ अत्यंत लहान लहान सरळ सरळ रेषांचा बनलेला असतो, त्याप्रमाणेंच गोल पदार्थांचा पृष्ठभाग अत्यंत लहान लहान अशा सपाट पृष्ठभागांचा बनलेला असतो. हें पृष्ठभाग गोलाच्या प्रत्येक बिंदूच्या ठिकाणीं काढलेल्या स्पर्शपातळीचे (tangent plane) भाग असतात, व त्यामुळें त्या बिंदूपासून काढलेल्या त्रिज्येला लंब असतात.

अंतर्गोल आरशांत प्रतिमा कशी तयार होते.

प्रयोग २५३—'अ' हा प्रकाशदायी बिंदू व अंतर्गोल आरसा यांच्या मध्ये समांतर उभ्या फटी कापलेला 'क' हा पडदा आरशाजवळ ठेवा. म्हणजे अत्यंत लहान कोनांत समाविष्ट होणारी व 'अ' पासून निघणारी वर्धमानांतर किरणें मिळतील. हीं किरणें आरशावर पडल्यावर परावर्तन पावतील. हीं परावृत्त किरणें एकाद्या बिंदूंत मिळतात का पाहा. तीं 'ब' या बिंदूंत मिळतील असें दिसेल व 'ट' येथून पाहाणाऱ्या माणसाला तीं किरणें 'ब' पासून निघतांना दिसतील. ज्या अर्थी 'अ' पासून निघालेलीं किरणें खरोखरच 'ब' या बिंदूंत मिळतात त्या अर्थी 'ब' ही 'अ' ची खरी प्रतिमा आहे.



आकृति २६९

फटी कापलेला पडदा आतां 'अ' या प्रकाशबिंदूजवळ ठेवा म्हणजे 'अ' पासून निघणारीं पण बऱ्याच मोठ्या कोनांत समाविष्ट होणारीं किरणें मिळतील. ही किरणें पूर्वीप्रमाणें परावर्तनानंतर एका बिंदूंत मिळतात का पाहा. ती एका बिंदूंत मिळत नाहींत व 'अ' ची स्पष्ट प्रतिमा दिसत नाहीं असें आढळेल.

यावरून **प्रतिमा स्पष्ट दिसण्याकरतां आरशाचा फारच लहान भाग उपयोगांत आणावा लागतो** असें दिसून येईल.

पुढील सर्व प्रयोगांत आरशाचा फारच लहान भाग उपयोगांत आणला आहे असें समजावें.

प्रयोग २५४—सूर्याचीं किरणें आरशाच्या मुख्य आंसास समांतर पडतील अशा रीतीनें अंतर्गोल आरसा उन्हांत धरा. आरशापुढें व सूर्यकिरणें आडणार नाहींत अशा रीतीनें एक जाड कागद धरा. कागद पुढें मागें सरकवा. किरणें क्षीयमाणांतर होऊन कांहीं अंतरावर केंद्रित होतात असें दिसेल. ज्या बिंदूंत तीं केंद्रित होतात त्यास **मुख्य केंद्र** (Principal focus) म्हणतात. या बिंदूचें आरशापासून अंतर मोजा. या अंतरास **केंद्रांतर** (Focal length) म्हणतात.

अथवाः—आरशापासून फार दूर असलेल्या पदार्थाच्या भिंतीवर पडलेल्या प्रतिमेचें आरशापासून अंतर मोजा म्हणजे केंद्रांतर समजेल.

गोलता मापकाच्या (spherometer) सहाय्यानें आरशाची त्रिज्या ठरवा व वरील प्रयोग निरनिराळें अंतर्गोल आरसे घेऊन करा. निरीक्षणें खाली दिल्याप्रमाणें लिहा.

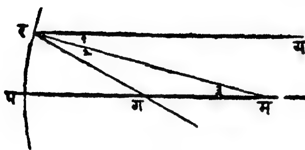
आरशाचा क्रमांक	निरीक्षित पदार्थ	प्रतिमेचे आरशापासून अंतर अथवाकेंद्रांतर	वक्रतेची त्रिज्या
१	सूर्य	६″	१२″
	दूरचे झाड	६·१″	१२″
	ढग	६″	१२″
२			

वरील निरीक्षणांवरून असें दिसेल कीं **केंद्रांतर हें वक्रतेच्या त्रिज्येच्या निम्मे असते.**

भूमितीनें:—

आरशांच्या मुख्य आंसास समांतर असणारें ‘यर’ किरण आरशावर ‘र’ येथें पडतें मर सांधा हा ‘र’ ठिकाणीं काढलेला लंब आहे; म्हणून $\angle$ यमर हा पतन कोन आहे. परावृत्त किरण ‘रग’ हें ‘मर’शीं तेवढ्याच अंशांचा कोन करून ‘पम’ या मुख्य आंसास ‘ग’ या बिंदूत छेदतें.

आतां यर आणि मप या समांतर रेषांस रम छेदते.



आकृति २७०

$\therefore \angle १ = \angle २$

$\because \angle १ = \angle २$

$\because$ त्रिकोण गमर हा सम द्विभुज त्रिकोण आहे आणि

गर = गम

पण 'पर' हा आरशाचा भाग फारच लहान असल्यानें 'र' आणि 'प' 'प' हे बिंदू एकमेकांच्या फारच जवळ असतील म्हणून

∴ गर = गप

∵ गप = गम

यावरून असें सिद्ध होते कीं, मुख्य आसाला समांतर असणारें व मुख्य आंसापासून दूर नसलेलें प्रत्येक किरण अंतर्गोल आरशावर परावर्तन पावून मुख्य आंसास एकाच बिंदूत छेदते. या बिंदूस **मुख्य केंद्र** म्हणतात. व हा छेदन बिंदू **वक्रतेचा मध्य व आरशाचा ध्रुव यांच्या मधोमध असतो.**

पदार्थ व अंतर्गोल आरशामुळें त्याची तयार होणारी प्रतिमा यांच्या अंतरांतील संबंध.

प्रयोग २५५— अंधाऱ्या खोलींत एका अंतर्गोल आरशासमोर कांहीं अंतरावर एक मेणबत्ती पेटवून ठेवा. मेणबत्तीची ज्योत आरशाच्या मध्यासमोर येईल अशी योजना करा. आरशासमोर म्हणजे मेणबत्तीचे बाजूसच एक घाशीव कांचेचा पडदा ठेवा; ज्योतींची स्पष्ट प्रतिमा मिळविण्याकरतां तो पुढें मागें सरकवा. ज्यावेळीं प्रतिमा चांगली स्पष्ट असेल त्यावेळीं ज्योतीचे व पडद्याचे आरशाच्या ध्रुवापासून अंतर मोजा. ज्योत आरशापासून हळूहळू लांब न्या व प्रतिमेचें आरशापासूनचें अंतर कमी होतें किंवा वाढतें तें पाहा. तसेंच ज्योत आरशाचेजवळ एका विशिष्ट मर्यादेपर्यंत आणा व प्रतिमेच्या अंतरांत काय फरक होतो तो पाहा. तुम्हांस असें दिसेल कीं

(१) पदार्थ जसजसा आरशापासून दूरदूर जातो तसतशी त्याची प्रतिमा आरशाचें जवळ जवळ–एका विशिष्ट मर्यादेपर्यंत जाते. अथवा प्रतिमेचें अंतर–एका ठराविक मर्यादेपर्यंत कमी होतें.

(२) पदार्थ जसजसा एका ठराविक मर्यादेपर्यंत आरशाचेजवळ जवळ येतो तसतसें प्रतिमेचे अंतर वाढत जातें.

पदार्थ आरशाचे फारच जवळ आणल्यास त्याची प्रतिमा आरशांत सरळ व मोठी दिसते.

प्रयोग २५६—मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणेंच प्रयोगाची

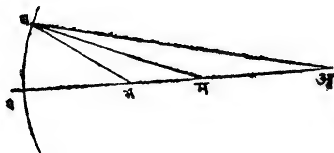
मांडणी करा. आरशापासून ज्योत निरनिराळ्या अंतरावर ठेवा. व तिची स्पष्ट प्रतिमा पडद्यावर घ्या. प्रत्येक वेळीं ज्योतीचें व तिच्या प्रतिमेचें अंतर आरशाच्या ध्रुवापासून मोजा [अंतरें मोजतांना याहि वेळीं प्रकाश ज्या दिशेनें जातो त्या दिशेनें मोजलेलीं अंतरें ऋण व त्याच्या विरुद्ध दिशेनें मोजलेलीं अंतरें धन समजावी.] हाच प्रयोग निरनिराळें अंतर्गोल आरसे घेऊन करा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.

आरसा	निरीक्षण क्रमांक	प्र(u)	प (v)	$\frac{१}{प} \left(\frac{1}{u} \right)$	$\frac{१}{प्र} \left(\frac{1}{v} \right)$	$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प}$

वरील निरीक्षणावरून असें दिसून येईल कीं दिलेल्या आरशाकरतां $\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प}$ हीं बैजिक बेरीज (Algebraic sum) ही नेहमीं ध्रुव असते.

$\left(\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} \right)$ या ध्रुव संख्येस आरशाची शक्ति म्हणतात.

$\frac{१}{प्र} + \frac{प}{१} =$ फ F आरशाची शक्ति.



आकृति २७१

भूमितीनें:—ज्या अर्थीं ‘ अब ’ आणि ‘ मब ’ या रेषा कागदाच्या पातळींतच आहेत, त्या अर्थीं ‘ बभ ’ हें परावृत्त किरणहि कागदाच्या पातळींतच असलें पाहिजे व म्हणून तें मुख्य अंगास कोणच्या तरी ‘ भ ’ बिंदूंत छेदत असले पाहिजे.

पतन कोन $\underline{|अबम}$ = परावर्तन कोन $\underline{|मबभ}$

ज्या अर्थी अबम त्रिकोणाचा 'ब' हा शिरोकोन 'मब' नें दुभागला जातो त्या अर्थी $\frac{अम}{भम} = \frac{अब}{भम}$

आरशाचा फारच लहान भाग उपयोगांत आणावयाचा असल्यानें 'ब' आणि 'प' हे बिंदु जवळ जवळ असतील.

$$\therefore \quad \frac{अम}{भम} = \frac{अप}{भप}$$

$$अथवा \quad \frac{अम}{अप} = \frac{भम}{भप}$$

$$,, \quad \frac{पअ - मप}{पअ} = \frac{पम - पभ}{पभ}$$

जर पअ = प; पभ = प्र. पभ = त्रि याप्रमाणें मानले तर

$$\frac{प - त्रि}{प} = \frac{त्रि - प्र}{प्र}$$

अथवा प. प्र – प्र. त्रि = प्र. त्रि – प. प्र

,, २ प. प्र = प.त्रि + प. त्रि. प. प्र. त्रि. नें भागून

$$\frac{२}{त्रि} = \frac{१}{प्र} + \frac{१}{प}$$

$\therefore$ त्रिज्या = २ के (केंद्रांतर)

$$\therefore \quad \frac{१}{के} = \frac{१}{प्र} + \frac{१}{प}$$

$$अथवा \quad \frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के} = फ \; (F)$$

यावरून 'प' (पदार्थाचें अंतर), व के (केंद्रांतर) माहीत असल्यास प्रतिमेची जागा ठरवितां येते.

आकृतिच्या सहाय्यानें प्रतिमेची जागा ठरविणें—

वक्रतेचा मध्य व मुख्य केंद्र यांच्या जागा माहीत असल्यास आलेखाच्या सहाय्यानें प्रतिमेची जागा ठरवितां येतें.

आकृति काढतांना पुढील नियम लक्षांत ठेवावे.

(१) वक्रतेच्या मध्यांतून जाणारें किरण आरशावर लंब रूपानें पडत असल्यानें, परावर्तनानंतर तें आलेल्या मार्गानेंच परत जातें.

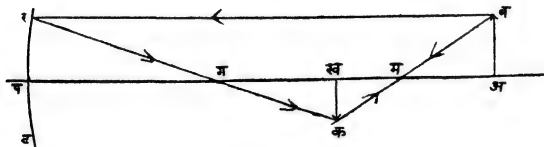
(२) मुख्य आंसाला समांतर असणारें किरण परावर्तन पावून मुख्य केंद्रांतून जातें.

(३) मुख्य केंद्रांतून जाणारें किरण आरशावर परावर्तन पावल्यावर मुख्य आंसास समांतर जातें.

यापैकीं कोणच्याहि दोन नियमांचा उपयोग करून, प्रतिमेची जागा, आकार (size) व रूप हीं सर्व ठरवितां येतात.

उदाहरणः—६″ केंद्रांतर असलेल्या आरशापासून १५″ अंतरावर असलेल्या २″ उंचीच्या पदार्थाची प्रतिमा कोठें, किती मोठी व कशी पडेल?

बाजूचे आकृतींत 'रपट' हा दिलेला आरसा असून 'पम' हा त्याचा मुख्य आंस आहे. वाटेल तें प्रमाण धरून 'पम' वर पग = ६″,

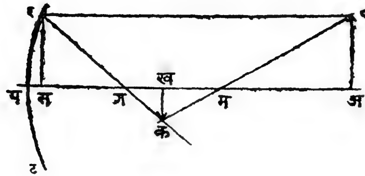


आकृति २७२

पम = १२″, पअ = १५″ अशीं अंतरें मोजून घ्या. 'पम' शीं काटकोन करून २″ उंचीचा पदार्थ दाखविणारी अब रेषा काढा. 'ब' पासून निघणारें व पम या मुख्य आंसास समांतर असणारें बर किरण परावर्तनानंतर मुख्य केंद्रांतून रग या मार्गानें जाईल. त्याचप्रमाणें 'ब' पासून निघणारें आरशाच्या 'म' या वक्रतेच्या मध्यांतून जाणारें किरण गेलेल्या मार्गानेंच परत फिरेल. म्हणजे मब मार्गानें जाईल. हें किरण 'रग' किरणास 'क' बिंदूत छेदतें म्हणून 'ब' बिंदूची प्रतिमा 'क' येथें तयार

होईल व 'अब' पदार्थाची प्रतिमा 'रवक' नें दर्शविली जाईल. ही प्रतिमा वक्रतेचा मध्य व केंद्र यांच्यामध्यें 'प' पासून १०″ असून पदार्थापेक्षां लहान व उलटी आहे. परावृत्त किरणामुळेंच ज्या अर्थी ही प्रतिमा तयार होते त्या अर्थी ती खरी आहे.

बाजूचे आकृतींत त्रिकोण बअम आणि कखम सदृश आहेत.



आकृति २७३

$$\therefore \frac{\text{कख}}{\text{बअ}} = \frac{\text{खम}}{\text{अम}} = \frac{\text{२ के--प्र}}{\text{प--२के}}$$

तसेंच त्रिकोण रसग आणि कखग सदृश आहेत.

$$\therefore \frac{\text{कख}}{\text{रस}} = \frac{\text{गख}}{\text{गस}} = \frac{\text{प्र--के}}{\text{के}}$$

(आरसा फार लहान असल्यानें गप = गस)

$$\therefore \text{बअ} = \text{रस}$$

$$\therefore \frac{\text{कख}}{\text{बअ}} = \frac{\text{२के--प्र}}{\text{प--२के}} = \frac{\text{प्र--के}}{\text{के}}$$

समीकरण सोडवून २ के^{२}–प्र. के=प.प्र – प.के–प २प्र. के + २के^{२}

अथवा प्र. के + प. के = प. प्र. प. प्र. के, नें

भागून $\frac{\text{१}}{\text{प}} + \frac{\text{१}}{\text{प्र}} = \frac{\text{१}}{\text{के}}$

आरशाची महत्कारी शक्ति.

$$म = \frac{प्रतिमेची\ लांबी}{पदार्थाची\ लांबी} = \frac{कख}{बअ} = \frac{मख}{मअ} = \frac{त्रि-प्र}{प-त्रि}$$

$$पण\ \frac{१}{प} + \frac{१}{प्र} = \frac{१}{कें} = \frac{१}{त्रि}$$

$$\therefore \frac{१}{प्र} - \frac{१}{त्रि} = \frac{१}{त्रि} - \frac{१}{प}$$

$$अथवा\ \frac{त्रि-प्र}{प्र.त्रि} = \frac{प-त्रि}{प.त्रि}$$

$$\therefore \frac{त्रि-प्र}{प-त्रि} = \frac{प्र.त्रि}{प.त्रि} = \frac{प्र}{प} :$$

म्हणजे येथेंहि भिंगाप्रमाणें.

$$महत्कारी\ शक्ति\ म = \frac{प्रतिमेचें\ अंतर}{पदार्थाचें\ अंतर} :$$

अंतर्गोल आरशांचे केंद्रांतर ठरविण्याच्या रीती.

रीत १ ली.

प्रयोग २५७—सूर्य किरणें व आरशाचा मुख्य आस यांच्यामध्यें अतिशय लहान कोन होईल अशा रीतीनें एक अंतर्गोल आरसा उन्हांत धरा. आरशासमोर एक पांढरा खरडा धरा व तो पुढें मागें करून त्यावर सूर्याची स्पष्ट प्रतिमा मिळवा, आरशाच्या ध्रुवापासून प्रतिमेचें अंतर मोजा.

रीत २ री.

प्रयोग २५८—एका खरड्यास एक गोल छिद्र पाडा. एकमेकाशीं काटकोन करणाऱ्या व्यासावर दोन केस चिकटवा. एका तेजस्वी ज्योति-समोर ह्या खरड्यातील छिद्र येईल अशा रीतीनें हा खरडा उभा धरा व छिद्रातून जाणारीं किरणें आरशावर पडूं द्या. छिद्राचा मध्य व आरशाचा मध्य एका पातळींत येतील असें करा. छिद्राचा मध्य व

आरशाचा ध्रुव यांना सांधणारी रेषा आरशाचा मुख्य आस अगदीं लहान कोन करील अशा रीतीनें आरसा फिरवा. आरशासमोर एक घाशीव काचेचा पडदा उभा धरा व तंतूंची प्रतिमा त्यावर स्पष्ट दिसेतों त्यास मागें पुढें सरकवा. छिद्रावर बसविलेल्या तंतूचें अंतर व त्याच्या प्रतिमेचें अंतर अशीं अंतरें आरशाच्या ध्रुवापासून मोजा, व पुढील सूत्रानें केंद्रांतर ठरवा.

$$\frac{१}{प्र}+\frac{१}{प}=\frac{१}{कें}:$$

रीत ३ री

प्रयोग २५९—वरील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणेंच प्रयोगाची मांडणी करा. आरसा व छिद्र पाडलेला खरडा यांचेमधील अंतर कमी जास्त करा कीं, छिद्रावरील तंतूंची प्रतिमा त्याच खरड्यावर त्याचे जवळ पडेल. आरशापासून छिद्राचें अंतर मोजा व त्यास दोननें भागा म्हणजे केंद्रांतर समजेल.

ज्या अर्थी तंतूंची प्रतिमा ते ज्या जागीं आहेत त्याच जागीं पडते त्या अर्थी त्याचेपासून निघालेलीं किरणें ज्या मार्गानें आरशाकडे जातात त्याच मार्गानें परत येत असलीं पाहिजेत; म्हणजे तीं आरशावर लंब रूपानें पडत असलीं पाहिजेत. तीं किरणें आरशावर लंब रूपानें पडण्या-करता ते तंतू आरशाच्या वक्रतेच्या मध्यावर असले पाहिजेत. म्हणून आरसा व वक्रतेचा मध्य (म्हणजे तंतू) यांचेमधील अंतर मोजून त्यास दोननें भागलें असतां केंद्रांतर मिळेल.

प्रयोग २६०—आरशासमोर पदार्थ ठेवून त्याची प्रतिमा कोठें पडते ते पाहा. आरसा जागचे जागींच ठेवून ज्या जागीं पहिल्यानें प्रतिमा पडत होती त्या जागीं पदार्थ ठेवा व प्रतिमेची जागा निश्चित करा. ही प्रतिमा पूर्वी ज्या जागीं पदार्थ होता त्याच जागीं पडते असें आढळेल. निरनिराळे आरसे घेऊन व निरनिराळ्या अंतरावर पदार्थ ठेवून हाच प्रयोग करा. तुम्हास असें दिसेल कीं, पदार्थ जर प्रतिमेच्या जागीं ठेवला तर प्रतिमा पदार्थाच्या जागीं येतें. ही गोष्ट आरशाच्या सूत्रावरून सहज लक्षांत येईल.

जेव्हां आरसा न हालवितां पदार्थ व त्याची प्रतिमा यांच्या जागांची अदलाबदल करतां येतें, तेव्हां पदार्थ व त्याची प्रतिमा ज्या बिंदूवर असतील त्या बिंदूस **संबद्ध केंद्रें** किंवा **संयोगी केंद्रें** (Coujugate foci) म्हणतात. हे बिंदू प्रतिमा जेव्हां खरी असते तेव्हांच मिळूं शकतात.

पदार्थाच्या व त्याच्या प्रतिमेच्या अंतरांचा संबंध दाखविणारा आलेख काढल्यास तो अशाच प्रकारचा बाह्यगोल भिंगाच्या आलेखा-सारखा असतो असें आढळेल.

पदार्थ वक्रतेच्या मध्यावर ठेवल्यास त्यापासून निघालेलीं किरणें लंब रूपानें पडतात व म्हणून तीं आलेल्या मार्गानेच परत जातात व जेथें पदार्थ असेल तेथेच त्याची प्रतिमा पडते. म्हणून यावेळीं

$$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$$

$$\frac{१}{प} + \frac{१}{प्र} = \frac{१}{के}$$ हे असे होईल

अथवा प्र = प = के = त्रि असें.

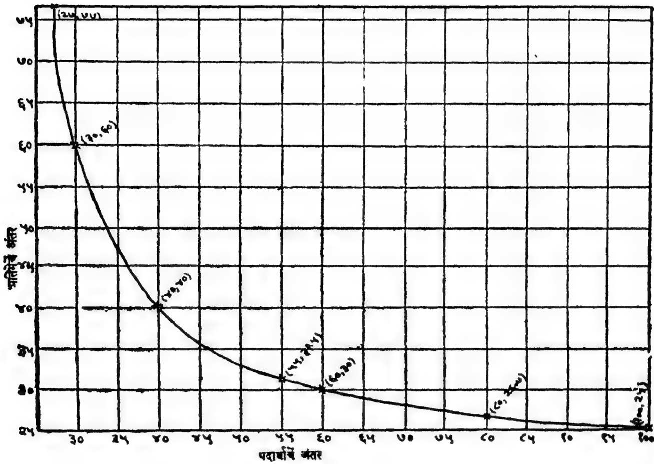
रीत ४ थी.

एकमेकाशीं काटकोन करणाऱ्या ‘अब’ व ‘अक’ रेषा काढा. अबवर प्रतिमेचे व अक पदार्थाचे अंतर मोजा. व पदार्थाच्या व त्याच्या प्रतिमेच्या अंतरांचा संबंध दाखविणारा आलेख काढा. ‘अबक’ कोन दुभागणाऱ्या रेषेवरील प्रत्येक बिंदू अब आणि अक पासून समान अंत-रावर असतो म्हणून हा द्विभाजक ज्या जागीं आलेखास छेदेल त्या बिंदूचे अब अथवा अक पासून अंतर मोजा व त्याची निम्मे करा म्हणजे केंद्रांतर समजेल.

अंतर्गोल आरसा घेऊन प्रयोग केला असतां पदार्थ व त्याच्या प्रतिमा यांची अंतरे पुढीलप्रमाणें आढळली तर आरशाचे केंद्रांतर काय ?

सेंटिमिटर.

प	२७	३०	४०	५५	६०	८०	१००
प्र	७७	६०	४०	३१·५	३०	२६·७	२५

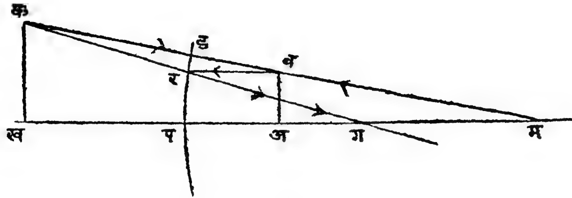


आकृति २७४

अंतर्गोल आरसे व भ्रामक प्रतिमा.

पदार्थ आरशापासून एका विवक्षित मर्यादेपलीकडे म्हणजे आरशाच्या केंद्रांतरापेक्षां अधिक अंतरावर ठेवले असतां त्यांच्या प्रतिमा कोठे व कशा पडतात या विषयींच आतांपर्यंत आपण विचार केला आहे. पदार्थ आरशापासून त्याच्या केंद्रांतरापेक्षां कमी अंतरावर ठेवल्यास त्याची प्रतिमा कोठें व कशी पडेल या विषयीं आपणास विचार करावयाचा आहे.

समजा बाजूचे आकृतींत अब हा पदार्थ आरशाच्या केंद्रांतरापेक्षां, म्हणजे पग पेक्षा, कमी अंतरावर ठेवला आहे. 'ब' पासून निघालेलें व मुख्य आंसास समांतर असणारें बर किरण परावर्तनानंतर रग— मार्गानें जाईल. तसेच 'मबड'—हें वक्रतेच्या मध्यातून जाणारें किरण



आकृति २७५

परावर्तनानंतर डबम—या मार्गानें जाईल. हे किरण मार्ग 'रग' आणि 'डम' या दिशानीं पुढें वाढविल्यास एकमेकांस मिळणार नाहींत, म्हणून आपणास 'ब' ची खरी प्रतिमा मिळणार नाहीं; पण हेंच मार्ग गर— आणि मड-- या दिशांनीं वाढविल्यास आरशाच्या मागें 'क' बिंदूंत एकमेकांस छेदतील म्हणून 'ब' ची भ्रामक प्रतिमा क येथें तयार होईल. 'ट' येथून पाहाणाऱ्या माणसास अब पदार्थाच्या 'ब' बिंदूपासून निघालेलीं किरणें 'क' पासून निघत आहेत असा भास होईल. आणि अब ची भ्रामक प्रतिमा 'कख' येथें दिसेल. या प्रतिमेचे नीट निरीक्षण केल्यास ती सरळ आणि पदार्थापेक्षां मोटी आहे, व साध्या आरशांतील प्रतिमेप्रमाणेंच केवळ आरशांतच दिसणारी आहे असें दिसून येईल.

प्रतिमा भ्रामक असतांना देखील आरशाचें सूत्र

$\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ हेंच असतें, पण प्रतिमा भ्रामक असल्यानें म्हणजे आरशाच्या मागें तयार होत असल्यानें हें अंतर ऋण असतें. व त्यामुळें महत्कारी शक्ति $\frac{प्र}{प}$ हें गुणोत्तरहि ऋण असतें व प्रतिमा सरळ असते.

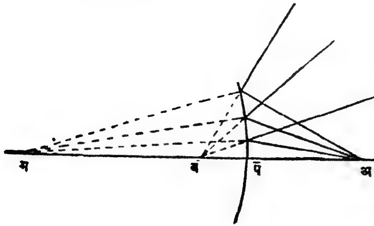
पुढील कोष्टकांत अंतर्गोल आरशामुळें उत्पन्न होणाऱ्या प्रतिमाविषयीं संघटित व सविस्तर माहिती दिली आहे ती लक्षांत ठेवणें अवश्य आहे.

पदार्थांची जागा.	प्रतिमेची जागा	प्रतिमेची माहिती
१ अनंत अंतरापासून वक्रतेच्या मध्यापर्यंत (दुप्पट केंद्रांतरापर्यंत) कोठेंहि.	वक्रतेचा मध्य (दुप्पट केंद्रांतर) व केंद्र याच्या-मध्यें.	खरी, उलट, लहान व पदार्थांचे बाजूस.
२ दुप्पट केंद्रांतरावर	दुप्पट केंद्रांतरावर.	खरी, उलट, पदार्था-येवढीच, पदार्थांचे बाजूस
३ दुप्पट केंद्रांतर व केंद्र यांच्यामध्यें	दुप्पट केंद्रांतर व अनंत यांच्यामध्यें.	खरी, उलट, मोठी व पदार्थांचे बाजूस.
४ केंद्र व आरसा यांच्यामध्यें.	आरशाचे मागें—∞ पासून आरशापर्यंत.	भ्रामक, सरळ, मोठी व पदार्थांचे विरुद्ध बाजूस.

बाह्यगोल भिंगामुळें उत्पन्न होणाऱ्या प्रतिमांविषयीं दिलेल्या माहितीची या माहितीशीं तुलना केल्यास असें आढळून येईल कीं, बाह्यगोल भिंगामुळें व अंतर्गोल आरशामुळें उत्पन्न होणाऱ्या प्रतिमा यांच्यांत निकट साम्य आहे. दोहोंत फक्त एवढाच फरक आहे कीं आरशाचे बाबतींत खऱ्या प्रतिमा परावर्तनामुळें तयार होत असल्यानें त्या पदार्थांच्याच बाजूला असतात व भिंगाचे बाबतींत त्या भिंगांतून जाणाऱ्या प्रकाशामुळें तयार होत असल्यानें त्या पदार्थांच्या विरुद्ध बाजूस असतात. आरशांत भ्रामक प्रतिमा पदार्थांच्या विरुद्ध बाजूस दिसतात. तर भिंगांत त्या पदार्थांच्याच बाजूस असतात.

बाह्यगोल आरसे (Convex mirrors)

प्रयोग २६१—'अ' या प्रकाशित बिंदूपासून निघालेलीं किरणें या प्रकरणांतील पहिल्या प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें बाह्यगोल आरशावर पाडा. तीं परावृत्त झाल्यावर अंतर्गोल आरशाप्रमाणें एका बिंदूत केंद्रित होतात का पाहा. तीं तशीं केंद्रित होत नसून अधिक फांकलेलीं आहेत असें दिसेल.



आकृति २७६

यावरून बाह्यगोल आरशामुळें खरी प्रतिमा कधींच तयार होत नसावी हें उघड आहे.

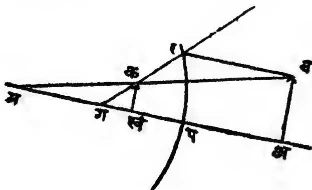
परावर्तनानंतर अधिक फांकणाऱ्या या किरणाच्या दिशेनें आरशाकडे पाहिल्यास तीं सर्व किरणें आरशांत दिसणाऱ्या दुसऱ्या एका 'ब' बिंदूपासून निघत आहेत असा भास होईल. ज्या 'ब' बिंदूपासून तीं निघत आहेत असा भास होतो त्यास 'अ' बिंदूची **भ्रामक प्रतिमा** म्हणतात.

जर मुख्य आंसास समांतर असणारीं किरणें परावर्तनानंतर आरशांतील ज्या बिंदूपासून ती निघत आहेत असा भास होतो त्यास **मुख्य केंद्र** म्हणतात. हा बिंदू आंतर्गोल आरशाप्रमाणें मुख्य आंसावर व वक्रतेचा मध्य आणि ध्रुव यांच्या अगदीं मधोमध असतो.

बाह्यगोल आरशांचे बाबतींतहि अंतर्गोल आरशाप्रमाणें पुढील नियम लागूं पडतात.

(१) वक्रतेच्या मध्याकडे जाणारीं किरणें परावर्तनानंतर आलेल्या मार्गानेंच परत फिरतात.

(२) मुख्य आंसास समांतर असणारीं किरणें परावर्तनानंतर आरशाचे मागें वाढविल्यास मुख्य केंद्रांतून जातात.



आकृति २७७

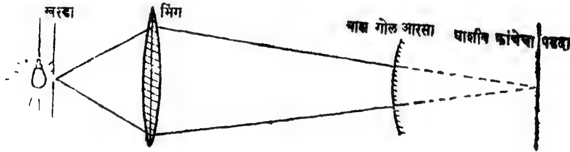
(३) मुख्य केंद्राकडे जाणारीं किरणें परावर्तनानंतर मुख्य आंसास समांतर होतात.

(४) $\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ हें सूत्र अतर्गोल आरशाप्रमाणें याहि आरशास लागू पडतें, पण 'प्र' आणि 'के' हीं अंतरें प्रकाश ज्या दिशेनें जातो त्याच दिशेनें मोजावी लागत असल्यामुळें तीं ऋण असतात.

(५) महत्कारी शक्ति अंतर्गोल आरशाप्रमाणेंच $म = \frac{प्र}{प}$ या सूत्रानेंच ठरवितां येते, पण 'प्र' ऋण असल्यानें 'म' ची किंमतहि ऋण असते.

बाह्यगोल आरशाचें केंद्रांतर ठरविण्याची रीत.

प्रयोग २६२—एका खरडयाच्या तुकडयास एक गोल छिद्र पाडा. छिद्राच्या काटकोन करणाऱ्या व्यासावर दोन तंतू चिकटवा. या खरडया-तील छिद्राच्या मागें एक तेजस्वी दिवा ठेवा. खरडयापुढें कांहीं अंतरा-वर एक भिंग खरडयास समांतर ठेवा. भिंगाचा मध्य व छिद्राचा मध्य



आकृति २७८

हे दोन्ही एकाच उंचीवर येतील असें करा. भिंगाचे दुसरे बाजूस घाशीव कांचेचा तुकडा ठेवा व त्यास पुढें मागें सरकवून त्यावर छिद्रावर चिकट-विलेल्या तंतूंची स्पष्ट प्रतिमा मिळवा. भिंग व पडदा यांच्यामध्यें बाह्य-गोल आरसा ठेवा. त्यास मागें पुढें सरकवून छिद्रावरील तंतूंची प्रतिमा छिद्र असलेल्या खरडयावरच व त्यांतील छिद्राचे जवळच पाडा. आरसा व पडदा यांचेमधील अंतर मोजा. व त्याची निम्पट करा म्हणजे दिलेल्या बाह्यगोल आरशाचें केंद्रांतर मिळेल.

ज्याअर्थी खरड्यांतील छिद्राची प्रतिमा त्याच्या शेजारींच त्याच खरड्या-वर पडते, त्याअर्थी आरशावर पडणारीं किरणें आलेल्या मार्गानेंच परत

जात असलीं पाहिजेत; म्हणजे तीं त्यावर लंबरूपानें पडलीं असलीं पाहिजेत, अथवा हीं किरणें पुढें वाढविल्यास आरशाच्या वक्रतेच्या मध्यांतून गेलीं पाहिजेत, म्हणून कांचेच्या पडद्यावरील प्रतिमेच्या जागीं आरशाच्या वक्रतेचा मध्य असला पाहिजे.

$$\text{केंद्रांतर} = \frac{\text{वक्रतेची त्रिज्या}}{२} = \frac{\text{कांचेचा पडदा व आरसा यांमधील अंतर}}{२}$$

आरशावरील उदाहरणें सोडवितांना पुढील नियम लक्षांत ठेवावे.

(१) पदार्थाचें व प्रतिमेचें अंतर. हीं अंतरें नेहमीं आरशाच्या ध्रुवापासून मोजलेलीं असतात.

(२) पदार्थाचें अंतर प हें नेहमीं धन असतें.

(३) प्रतिमेचें अंतर प्र हें प्रतिमा खरी असल्यास धन व भ्रामक असल्यास ऋण असतें.

(४) अंतर्गोल आरशाचें केंद्रांतर व शक्ति दोन्हीहि धन असतात.

(५) बाह्यगोल आरशाचें केंद्रांतर व शक्ति या दोन्हीहि ऋण असतात.

(६) महतीकरण 'म' धन असेल तर प्रतिमा उलट असते. 'म' ऋण असल्यास प्रतिमा सरळ असते.

आकृति काढतांना पुढील नियम लक्षांत ठेवावे.

(१) आरशाच्या मुख्य आंसाजवळचा फारच लहान भाग उपयोगांत आणला आहे असें समजूनच आकृति काढावी.

(२) मुख्य आंसास समांतर असणारीं किरणें परावर्तनानंतर मुख्य केंद्रांतून जातात.

(३) मुख्य केंद्रांतून जाणारीं किरणें परावर्तनानंतर मुख्य आंसास समांतर होतात.

(४) वक्रतेच्या मध्यांतून जाणारीं किरणें परावर्तनानंतर आलेल्या मार्गानेंच परत जातात.

अंतर्गोल आरशावरील कांहीं उदाहरणें.

(१) एका अंतर्गोल आरशाचें केंद्रांतर १० सें. मी. आहे. त्याचेपासून ३० सें. मी. अंतरावर ठेवलेल्या ५ सें. मी. उंचीच्या पदार्थाची प्रतिमा कोठें व किती मोठी पडेल हें गणितानें ठरवा. किरणांचा मार्ग दाखविण्याकरतां आकृति काढा.

आरशाचें सूत्र $\frac{१}{प} + \frac{१}{प्र} = \frac{१}{के}$: अंतरगोल आरशाचें केंद्रांतर धन असतें म्हणून $\frac{१}{३०} + \frac{१}{प्र} = \frac{१}{१०}$

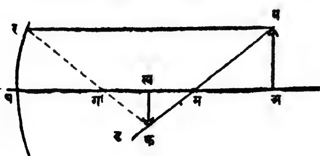
$$\therefore \frac{१}{प्र} = \frac{१}{१०} - \frac{१}{३०}$$

$$= \frac{२}{३०}$$

$$\therefore प्र = \frac{३०}{२} = १५ \text{ सें. मी.}$$

$$\text{महतिकरण (म)} = \frac{प्र}{प} = \frac{\text{प्रतिमेचें अंतर}}{\text{पदार्थाचें अंतर}} = \frac{१५}{३०} = \frac{१}{२}$$

म्हणून प्रतिमेची उंची पदार्थाच्या उंचीच्या निम्मे म्हणजे २·५ सें. मी. असेल. ब पासून निघालेलें व ‘ मप ’ या मुख्य आंसास समांतर असलेलें ‘ बर ’ हें किरण परावर्तनानंतर ‘रग’—या मार्गानें जाईल, आणि आरशाच्या वक्रतेच्या मध्यांतून म्हणजे ‘ म ’ मधून जाणारें ‘ बमड ’ – किरण डमब — मार्गानें परतेल. हीं दोन्हीं, म्हणजे ‘ रग ’ व ‘ डमब ’ हीं किरणें एकमेकांस ‘ क ’ बिंदूंत छेदतात म्हणून ‘ क ’ येथें ब ची खरी प्रतिमा तयार होईल. ‘अब’ हा पदार्थ ‘पम’शीं काटकोन करून असल्यानें त्याची प्रतिमादेखील ‘ पम ’ शीं काटकोन करील व ‘ अब ’ची प्रतिमा कख ही असेल.



आकृति २७९

ही प्रतिमा आरशापासून १५ सें. मी. अंतरावर पडते व हिची उंची २·५ सें. मी. आहे हें आकृतीवरून सहज दिसेल.

(२) १० सें. मी. केंद्रांतर असलेल्या एका अंतर्गोल आरशामुळें दिलेल्या पदार्थाची ५ सें. मी. उंचीची सरळ प्रतिमा ३० सें. मी. अंतरावर पडते, तर पदार्थ कोठे व किती मोठा असावा ?

प्रतिमा सरळ आहे म्हणून ती भ्रामक असून आरशाचे मागें असली पाहिजे, व म्हणूनच, 'प्र' ऋण असला पाहिजे.

$$\therefore \quad \frac{१}{-३०} + \frac{१}{५} = \frac{१}{१०}$$

$$\therefore \quad \frac{१}{प} = \frac{१}{१०} + \frac{१}{३०}$$

$$= \frac{४}{३०}$$

$$\therefore \quad प = ७\text{-}५$$

$$\frac{\text{पदार्थाची उंची}}{\text{प्रतिमेची उंची}} = \frac{प}{प्र} = \frac{७·५}{३०} = \frac{१}{४}$$

$$\therefore \text{पदार्थाची उंची} = \frac{\text{प्रतिमेची उंची}}{४} = \frac{५}{४} = १\text{-}२५$$



आकृति २८०

'प' पासून 'पम' या मुख्य आंसावर 'म' च्या विरुद्ध बाजूस 'पख' ३० सें. मी. अंतर मोजून घ्या. 'पख' शीं काटकोन करून 'खक' = ५ सें. मी· काढा. ही दिलेल्या पदार्थाची प्रतिमा असेल. 'गक' सांधा. म्हणजे पदार्थाच्या वरच्या टोंकापासून निघालेल्या व मुख्य आंसास समांतर असणाऱ्या किरणाचा परावर्तनानंतरचा मार्ग मिळेल. ही रेषा आरशास

'र' बिंदूंत छेदते. म्हणून पदार्थाच्या वरच्या टोंकापासून निघालेलें व मुख्य आंसास समांतर असणारें किरण र बिंदूत आरशास छेदते. म्हणून पदार्थाचें वरचें टोंक 'र' पासून मुख्य आंसास समांतर काढलेल्या 'रब' रेषेवर असलें पाहिजे. तसेंच पदार्थाचें वरचें टोंक, प्रतिमेचें वरचें टोंक 'क' आरशाचा मध्य 'म' यांस सांधणाऱ्या रेषेवर असलें पाहिजे. ही 'कम' रेषा 'रब' रेषेस 'ब' बिंदूंत छेदतें, म्हणून पदार्थाचें वरचें टोंक ब येथें असलें पाहिजे. पदार्थाची प्रतिमा 'कख' ही 'पम' या मुख्य आंसाशीं काटकोन करून आहे म्हणून पदार्थहि 'पम' शीं काटकोन करूनच असला पाहिजे म्हणजे 'अब' हा पदार्थ असला पाहिजे.

पदार्थ ७.५ सें. मी. अंतरावर व १.२५ सें. मी. उंचीचा असला पाहिजे हें आकृतीवरून स्पष्ट दिसेल.

(३) मोटार हांकणारास मागील रस्ता दिसावा म्हणून वापरण्यांत येणाऱ्या एका बाह्यगोल आरशाच्या वक्रतेची त्रिज्या १ फूट आहे. हा आरसा हांकणारापासून २ फूट अंतरावर आहे. त्याचेपासून ५० फुटावर असणाऱ्या ६ फूट उंचीच्या गाडीची प्रतिमा कोठें व किती मोठी पडेल? मोटार हांकणारास गाडीची पूर्ण प्रतिमा दिसण्याकरतां आरशाचा किती भाग अवश्य आहे? आकृति काढा

आरसा बाह्यगोल असल्यानें 'कें' ऋण आहे.

$$\therefore \frac{१}{प्र} + \frac{१}{५०} = \frac{१}{\frac{-१}{२}}$$

$$\therefore \frac{१}{प्र} = -२ - \frac{१}{५०}$$

$$= - \frac{१०१}{५०}$$

$$\therefore \quad = - \frac{५०}{१०१} \text{ फूट}$$

$$\therefore \text{ प्र} = \frac{-५०}{१००}$$

म्हणून प्रतिमा आरशाच्या मागें $\frac{५०}{१०१}$ फूट अंतरावर असली पाहिजे.

$$\frac{\text{गाडीच्या प्रतिमेची उंची}}{\text{गाडीची उंची}} = \frac{\text{प्र}}{\text{प}} = \frac{\left(\frac{५०}{१०१}\right)}{५०}$$

$$\therefore \text{ प्रतिमेची उंची} = \frac{५०}{१०१} \times \frac{१}{५०} \times \frac{६}{१}$$

$$= \frac{६}{१०१} \text{ फूट}$$

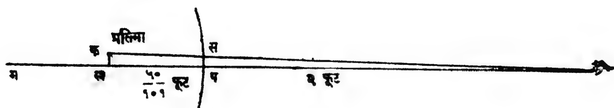
$$\frac{\text{आरशाची उंची}}{\text{प्रतिमेची उंची}} = \frac{\text{हाकणाऱ्यापासून आरशाचें अंतर}}{\text{हाकणाऱ्यापासून प्रतिमेचें अंतर}}$$

$$\text{अथवा आरशाची उंची} = \frac{२}{\frac{(५०+२)}{१०१}} \times \frac{६}{१०१} \text{ फूट}$$

$$= \frac{२ \times १०१}{५० + २०२} \times \frac{६}{१०१} \text{ फूट}$$

$$\frac{२०२}{२५२} \times \frac{६}{१०१} \times \frac{१२}{१} \text{ इंच.}$$

$$= \frac{४}{७} = ०\cdot५७ \text{ इंच}$$



आकृति २८१

(४) २० सें. मी. केंद्रांतराच्या बाह्यगोल आरशापासून २० सें. मी. अंतरावर २ सें. मी. उंचीचा एक पदार्थ ठेवला आहे तर त्याची प्रतिमा कोठें, कशी व किती मोठी पडेल.

बाह्यगोल आरसा आहे म्हणून के ऋण आहे.

$$\therefore \frac{१}{प्र} + \frac{१}{२०} = \frac{१}{-२०}$$

$$\therefore \frac{१}{प्र} = -\frac{१}{२०} - \frac{१}{२०}$$

$$= -\frac{१}{१०}$$

$$\therefore प्र = -१० \text{ सें. मी.}$$

$$\text{प्रतिमेची उंची} = \frac{प्र}{प} \times \text{पदार्थाची उंची.}$$

$$= -\frac{१०}{२०} \times २ \; \frac{-१०}{२०} \times २$$

$$= -१ \text{ सें. मी.}$$

प्र = − १० म्हणून प्रतिमा आरशाच्या मागें आहे.

ही प्रतिमा भ्रामक, सरळ व १ सें. मी. उंचीची आहे.

गोल आरशांचे कांहीं व्यावहारिक उपयोग.

(१) अंतर्गोल आरशामुळें उत्पन्न होणारी खरी प्रतिमा आरशाच्या समोरच उत्पन्न होत असल्यामुळें सूर्याचीं उष्ण किरणें केंद्रित करण्याकरतां त्याचा सूर्यकांत मण्यासारखा (बाह्यगोल) उपयोग करतात.

(२) अंतर्गोल आरशाच्या केंद्रांवर असलेल्या दिव्याचीं किरणें परावर्तनानंतर समांतर होतात म्हणून मोटारींच्या 'मार्गदर्शक' दिव्यांत (head lights) परावर्तका (reflector) सारखा याचा उपयोग करतात. या आरशामुळें यांच्या ध्रुवाजवळील भागांवर पडणारी किरणेंच फक्त परावर्तनानंतर समांतर असल्यानें दिव्याच्या प्रकाशांपैकीं फारच थोडा प्रकाश अशा रीतीनें उपयोगांत आणतां येतो. दिव्याचा जास्तींत जास्त प्रकाश

उपयोगात आणतां यावा म्हणून या आरशांचे ऐवजीं आतां (parabolic mirror) आरशाचा परावर्तक म्हणून उपयोग करतात.

(३) अंतर्गोल आरशात दिसणारी प्रतिमा सरळ व मोठी असल्यानें हजामत करण्याकरतांहि या आरशाचा उपयोग करतात.

(४) बाह्यगोल आरशामुळें त्याचे समोरील पदार्थांची सरळ प्रतिमा उत्पन्न होते. ही प्रतिमा लहान व आरशाचे अगदीं जवळ असल्यानें त्याचेसमोर असणारा बराचसा रस्त्याचा भाग त्यांत दिसूं शकतो. मोटार हाक्यांना मागील रत्स्यावर असणारी रहदारी दिसावी म्हणून या आरशाचा उपयोग करतात.

प्रश्नसंग्रह २५ वा.

(१) मुख्य आंस, ध्रुव, वक्रतेचा मध्य व मुख्य केंद्र यांच्या व्याख्या लिहा.

(२) मुख्य केंद्र हें ध्रुवापासून वक्रतेच्या त्रिजेच्या निम्मे अंतरावर असतें हें कसें सिद्ध कराल ?

(३) गोलता मापकाचा उपयोग न करतां आरशाची वक्रतेची त्रिज्या कशी ठरवाल ?

(४) $\frac{१}{प्र} + \frac{१}{प} = \frac{१}{के}$ या सूत्राच्या साहाय्यानें मुख्य आंसास समांतर असणारीं किरणें अंतर्गोल आरशावर परावर्तन पावून ज्या बिंदूंत केंद्रित होतात तो बिंदु ध्रुव व वक्रतेचा मध्य यांच्या मधोमध असतो हें कसें दाखवाल ?

(५) २० सें. मी. केंद्रांतर असलेल्या आरशामुळें उत्पन्न होणाऱ्या प्रतिमांच्या अंतरांचा व पदार्थाच्या अंतराचा आलेख काढा. या आलेखाच्या साहाय्यानें केंद्रांतर २० सें. मी. आहे हें सिद्ध करा.

(६) अंतर्गोल आरशापासून ६० सें. मी. अंतरावर ठेवलेल्या पदार्थांची प्रतिमा पदार्थाच्या चौपट मोठी पडते. तर आरशाचे केंद्रांतर काय?

(७) १० सें. मी. केंद्रांतर असलेल्या आरशासमोर ठेवलेल्या पदार्थांची प्रतिमा पदार्थाच्या तिप्पट मोठी दिसते. तर पदार्थ कोठें ठेवला म्हणजे (१) प्रतिमा खरी असेल, (२) प्रतिमा भ्रामक असेल.

(८) एक टांचणी तिचा मध्य अंतर्गोल आरशाच्या मुख्य आंसावर येईल अशा रीतीनें (१) वक्रतेचा मध्य व केंद्र यांच्याबरोबर मध्यांत व (२) ध्रुव व केंद्र यांच्या मध्यांत ठेवली असतां तिच्या प्रतिमा कोठें व कशा पडतील हे आकृति काढून दाखवा.

(९) एक पेन्सिल, (१) सपाट, (२) अंतर्गोल आणि (३) बाह्यगोल आरशाचे अगदीं जवळ ठेवली आहे. तिच्या प्रतिमांच्या आकारावरून भिंग कोणच्या जातीचे आहे हें कसें ठरवितां येईल ?

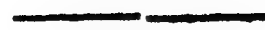
(१०) वरील उदाहरणांतील तीन्ही आरशांत पेन्सिलीची प्रतिमा पेन्सिली सारखीच सरळ दिसेल किंवा वक्र दिसेल ? वक्र दिसत असल्यास कोणच्या आरशांत तिची टोंकें आपणाकडे वळलेली व कोणच्यांत ती आपणापासून दूर गेलेलीं दिसतील ?

(११) ३ फूट त्रिज्या असलेल्या बाह्यगोल आरशापासून ६ फूट अंतरावर ठेवलेल्या पदार्थाची प्रतिमा कोठें पडेल ?

(१२) गाड्या हाकणारांना मागील सडक दिसावी म्हणून बाह्यगोल आरसा का वापरतात ?

(१३) बाह्यगोल आरशांत उलटी प्रतिमा कधीं तरी दिसते का ? दिसत नसल्यास का नाहीं ?

(१४) बाह्यगोल आरशाचे केंद्रांतर कसें ठरवाल ?



प्रकरण २६ वें.

दृक्यंत्रें (Optical instruments).

प्रयोग २६३—अंधाऱ्या खोलींत एका घाशीव कांचेच्या पडद्यासमोर कांहीं अंतरावर एक मेणबत्ती पेटवून ठेवा. मेणबत्ती व पडदा यांच्यामध्यें एक बाह्यगोल भिंग ठेवा. तें पुढें मागें सरकवून मेणबत्तीची प्रतिमा स्पष्ट पडद्यावर पडेल असें करा. पडदा. व भिंग यांचेमधील अन्तर कायम ठेऊन पहिल्या भिंगाचे ऐवजीं त्यापेक्षां अधिक फुगीर भिंग तेथें ठेवा, मेणबत्तीची स्पष्ट प्रतिमा पडद्यावर पाडण्याकरतां मेणबत्ती भिंगाचे जवळ आणावी लागते किंवा त्यापासून दूर न्यावी लागते ते पाहा. त्याचप्रमाणें पहिल्या भिंगाचे ऐवजीं त्यापेक्षां अधिक चापट भिंग घेऊन प्रयोग करा.

तुम्हांस असें आढळून येईल कीं पडदा व भिंग यांचेमधील अन्तर कायम ठेवल्यास

(१) भिंगापासून भिरनिराळ्या अंतरावर असलेले पदार्थ पडद्यावर केंद्रित करण्यास भिंगाचा फुगीरपणा निरनिराळा असावा लागतो.

(२) जवळचे पदार्थ पडद्यावर केंद्रित करण्यास भिंग फुगीर असावें लागते.

(३) लांबचे पदार्थ पडद्यावर केंद्रित करण्यास भिंग चापट असावें लागते,

प्रकाश लेखन यंत्र (Camera) समोर असलेल्या प्रकाशित पदार्थांची स्पष्ट उलटी व खरी प्रतिमा विषेश रीतीनें तयार केलेल्या प्रकाशग्राहीं कांचेवर अथवा कचकडयाच्या पत्र्यावर (Senstive plate film) पाडणें हें प्रकाश लेखन यंत्राचें मुख्य कार्य असतें.

साधे प्रकाश लेखन यंत्र (Simple campra) हें यंत्र म्हणजे जिच्यांत प्रकाश जाऊं शकणार नाहीं अशी एक पेटी असून तिच्या आंतल्या बाजूस काळा रंग लाविलेला असतो, काळा रंग लाविलेल्यानें पेटींच्या बाजूवर पडणारा प्रकाश परावर्तन पावत नाहीं. या पेटीच्या एका बाजूस एक छिद्र असून त्याचे (छिद्राचे) मागें एक बाह्यगोल भिंग असतें. हें भिंग

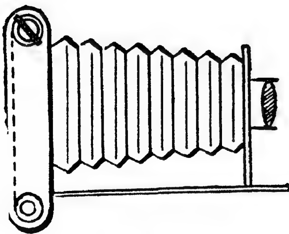
झांकण्याकरतां एक पडदा असतो. भिंगाचे मागे व छिद्रांचे विरुद्ध बाजूस तयार केलेली कांच अथवा कचकडयाचा पत्रा ठेवण्याकरतां व्यवस्था केलेली असते. भिंगापुढील पडदा उघडला म्हणजे भिंगामुळें त्याचेसमोर असलेल्या पदार्थाची खरी व उलटी प्रतिमा कांचेवर तयार होते. या यंत्रांत तयार केलेली कांच (प्रकाशग्राही) व भिंग याचेमधील अंतर कायम असते म्हणून भिंगापासून ठराविक अंतरावर असलेल्या पदार्थांचीच स्पष्टप्रतिमा काचेवर मिळते, त्यापेक्षां कमी किंवा जास्त अंतरावर असणाऱ्या पदार्थांची स्पष्ट प्रतिमा मिळत नाहीं. हा दोष टाळण्याकरतां म्हणजे यंत्रापुढें हव्या त्या अंतरावर ठेवलेल्या पदार्थांच्या स्पष्ट प्रतिमा मिळविण्याकरितां एकतर

(१) कमी जास्त फुगीरपणा असणारी निरनिराळीं भिंगे बसविण्याची व्यवस्था पेटींत असावयास पाहिजे. किंवा

(२) कांच व भिंग यांचेमधील अंतर कमी जास्त करण्याची योजना पेटींत असावयास पाहिजे.

पेटींत भिंगे बदलण्याची जरी व्यवस्था असली तरी निरनिराळया अंतराकरतां इतकीं निरनिराळीं भिंगें लागतील कीं तितकीं भिंगें बाळगणें अव्यवहार्य होईल, व भिंगाची संख्या नियमित केल्यास पदार्थांच्या अंतरात होणाऱ्या थोडथोडया फरकामुळें प्रतिमा अस्पष्ट होतील. या करतां साधारणतः चांगल्या यंत्रांत प्रकाशग्राही कांच व भिंग यांचेमधील अंतर कमी जास्त करण्याची व्यवस्था केलेली असते.

नेहमींचे प्रकाश लेखन यंत्र (ordinary camery). या यंत्रांत तयार केलेली प्रकाशग्राही कांच बसविण्याची चौकट व भिंगाची चौकट यांचेमध्यें काळया कापडाचा भाता असतो. या भात्यामुळें भिंग व कांच यांचेमधील अंतर कमी जास्त करता येते. व इच्छित पदार्थांची स्पष्ट प्रतिमा कांचेवर पाडतां येते.



आकृति २८२

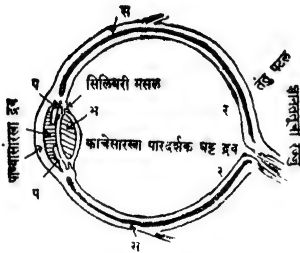
वाटेल त्या ऋतूंत व हव्या त्या वेळीं प्रकाशलेखन (Photogaphy) करतां यावें म्हणून कांचेवर पडणारा प्रकाश कमी जास्त करण्याची दोन प्रकारची व्यवस्था केलेली असते,

(१) छिद्राच्या आकार कमी जास्त करता येईल असा एक पडदा (Iris) किंवा (diaphrayn) भिंगासमोर असतो. छिद्र लहान मोठे केल्यानें कांचेवर पडणारा प्रकाश कमी जास्त करता येतो.

आणि

(२) भिंगावर एक झांकण असते, हें झांकण काढून भिंग कमी अधिक वेळ उघडे ठेवल्यानें कांचेवर पडणारा प्रकाश कमी जास्त करतां येतो.

डोळा (The human eye). माणसाचा डोळा म्हणजे एक ईश्वरप्रणित प्रकाश लेखन यंत्रच आहे. डोळयांत 'सस' हें पेटीसारखे एक कठिण कवच असून त्याच्या पुढील भाग 'क' हा पारदर्शक असतो. याला प्रकाश भेद्य कवच (cornea) म्हणतात. पदार्थापासून येणारा प्रकाश यांतून डोळयांत जातो. (cornea) प्रकाश भेद्य कवचाच्या मागे 'पप' हा एक रंगीत पडदा असतो. या पडद्यास (Tris) किंवा (Diaphragm) बुबुळ म्हणतात या पडद्याच्या रंगावरून डोळयाचा रंग ठरवितात. पडद्यांतील छिद्र बाहुली (pupil) लहान मोठी करून डोळयांत शिरणाऱ्या प्रकाशाचे नियमन करतां येते. बाहेर जेव्हां प्रकाश कमी असतो तेव्हां बाहुली मोठी होतें व अधिक प्रकाश डोळयांत शिरतो. याचे उलट बाहेरील प्रकाश जेव्हां तीव्र असतो त्यावेळीं बाहुली लहान होते व डोळयांत फार प्रकाश जाऊं शकत नाहीं. डोळयांत शिरणारा प्रकाश 'पप' या रंगीत पडद्यांतील छिद्रां तून (बाहुली) 'भ' या भिंगावर पडतो व त्यामुळें 'रर' या तंतु-पटलावर (Retina) डोळयासमोर असलेल्या पदार्थांची खरी व उलट प्रतिमा तयार होते. या पटलांत असणारें ज्ञानतंतू ही बातमी ज्ञानतंतूच्या



आकृति २८३

रज्जूनें (Opticnerve) मेंदूस देतात व त्या डोळयापुढील पदार्थ आपणांस दिसूं लागतो. (Gornea) प्रकाश भेद्य कवच आणि भिंग यांचे मधील जागेंत पाण्यासारखा पातळ पदार्थ (aqueous humour) व भिंग आणि तंतुपटल यांचे मधील जागेंस साधारण घट्ट असा पारदर्शक द्रव (vitrious humour) या प्रमाणें दोन द्रव भरलेले असतात. या पातळ द्रवाचा दाब बाहेरील कवचीवर असल्यानें तिचा आकार कायम राहतो. वरील वर्णनावरून असें दिसून येईल कीं डोळयांतील भिंग व तंतुपटल (retina) यांचेमधील अंतर कायम असतें म्हणजे तें कमी किंवा जास्त करता येत नाहीं.

निरनिराळया अंतरा वरील पदार्थांची स्पष्ट प्रतिमा पडद्यावर पाडण्या करितां:—

(१) भिंग कायम ठेवावयाचे झाल्यास भिंग आणि पडदा यांचे मधील अंतर बदलावें लागतें. किंवा

(२) भिंग आणि पडदा यांचेमधील अंतर कायम ठेवावयाचे असेल तर भिगाचा फुगीरपणा बदलावा लागतो.

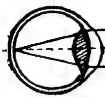
ज्याअर्थी आपणांस निरनिराळया अंतरावरील पदार्थ स्पष्ट दिसतात डोळयांतील भिंग व तंतुपटल यांचेमधील अंतर बदलता येत नाहीं त्या अर्थी डोळयांतील भिंगाचा फुगीरपणा बदलण्याची व्यवस्था डोळयांत असावयास पाहिजे. भिंगाचा फुगीरपणा बदलण्याचें कार्य 'कम' या (Ciliary muscle) स्नायूंनीं केलें जातें.

अशा रीतीनें भिंगाचा फुगीरपणा वाढवून डोळयापासून कमींत कमी १०″ अथवा २५ सें. मी. अंतरावरील पदार्थ आपणांस नीट पाहातां येतात. यापेक्षां कमी अंतरावर असलेले पदार्थ स्पष्ट दिसत नाहींत, पण जास्त अंतरावरील पदार्थ मात्र स्पष्ट दिसतात. डोळयांत दोष नसलेल्या माणसाचा '**समीप दृष्टि बिंदु**' (Near Point) २५ सें. मी. अंतरावर असतो.

डोळयांतील सर्व साधारण दोष:—सर्व साधारण मनुष्याचे डोळयांत मुख्यतः पुढील तीन प्रकारचे दोष आढळून येतात.

(१) लघुदृष्टि (Shorf Sight, Myopia), (२) दीर्घदृष्टि (Long Sight, Hyper Metiropia) आणि (३) दृष्टिमांद्य (loss of accommodration or Presbyopia).

साधारणतः प्रत्येक माणसाला डोळ्यापासून २५ सें. मी. (१० इंच) अंतरापेक्षां अधिक अंतरावर असलेले पदार्थ स्पष्ट दिसतात. तसेंच अतिशय दूर असलेल्या पदार्थांची प्रतिमा बरोबर तंतुपटलावर पडत असल्यानें ते पाहतांना डोळ्यावर कोंणत्याहि प्रकारची ताण पडत नाहीं. परंतु पहिले दोन दोष असलेल्या माणसांचे समीप दृष्टि बिंदु (near point) व दूर दृष्टि बिंदु (far points) वेगवेगळे असतात.

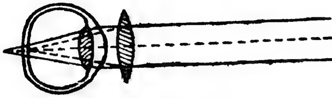


आकृति २८४

लघुदृष्टिः—(Short Sight) ज्यांच्या डोळयांत हा दोष आहे त्या माणसांना लांबचे पदार्थ स्पष्ट दिसत नाहींत. याचा डोळा इतर माणसांच्या डोळयापेक्षां अधिक लांबट असतो, त्यामुळें लांबच्या पदार्थांच्या प्रतिमा, नेमक्या तंतु पटलावर तयार न होतां त्या त्याच्यापुढें तयार होतात व म्हणून या माणसांना लांबचे पदार्थ स्पष्ट दिसत नाहीत. ते पाहण्याकरतां या माणसांना अंतर्गोल भिंगें असलेले चष्मे वापरावे लागतात. अंतर्गोल भिंगामुळें दूरच्या पदार्थांपासून येणारीं किरणें डोळयांत शिरण्यापूर्वी वर्धमानांतर होतात (म्हणजे जवळच्या पदार्थापासून आल्यासारखी होतात). व म्हणून तंतुपटलाचे पुढें तयार होणारी प्रतिमा अंतर्गोल भिंगामुळें तंतु पटलावरच तयार होते. ती त्या ठिकाणीं कशी तयार होते हें आकृतींत दाखविले आहे.

दीर्घदृष्टि (Long Sight) हा दोष ज्याच्या डोळयांत आहे त्या माणसांना जवळचे पदार्थ स्पष्ट दिसत नाहींत. साधारण माणसांच्या डोळ्यापेक्षां यांचा डोळा थोडा आंखुड असतो, त्यामुळें लांबच्या पदार्थांची प्रतिमा तंतुपटलाचे किंचित् मागें पडते, पण डोळयांतील भिंगाचा फुगीरपणा वाढवून ती तंतु पटलावर पाडतां येते म्हणजे दूरचे पदार्थ स्पष्ट दिसूं शकतात. पदार्थ जसजसा भिंगाचे (डोळयाचे) जवळ येतो तस-

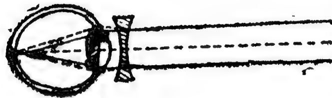
तशी त्याची प्रतिमा भिंगापासून दूर दूर जाते. म्हणून डोळयाजवळ असलेल्या पदार्थांची प्रतिमा तंतु पटलाचे फारच मागें पडते. डोळयांतील भिंगाचा फुगीरपणा वाढवून ती तंतु पटलावर आणणें शक्य नसते



आकृति २८५

म्हणून जवळचे पदार्थ पाहाण्याकरतां या माणसांना बाह्यगोल भिंगें असलेलें चष्मे वापरावें लागतात. जवळच्या पदार्थांपासून येणारीं किरणें बाह्यगोल भिंगामुळें डोळयांत शिरण्यापूर्वी क्षीयमाणांतर होतात व म्हणून तंतु पटलाचे मागें पडणारी प्रतिमा या भिंगामुळें तंतु पटलावर पडते. हें कार्य कसें होतें हें आकृतीवरून सहज समजेल.

दृष्टिमांद्य (loss of accomodation):—वयपरत्वें माणसाची इतर गात्रें जशी शिथिल होतात तसें डोळयांतील भिंगाचा फुगीरपणा ज्या स्नायुमुळें वाढवितां येतो ते स्नायुहि शिथिल होतात, जवळचे पदार्थ



आकृति २८६

पाहण्याकरतां भिंग फुगीर करावें लागतें, पण हें कार्य वयोमानामुळें करतां येत नसल्यानें म्हाताऱ्या माणसाना जवळचे पदार्थ नीट दिसत नाहींत. ते पाहाण्याकरतां ४० वर्षांवर वय असलेल्या माणसाना बहुधा चष्मा वापरावा लागतो. या चष्म्याची भिंगें बाह्यगोल असतात. ४० वर्षांचें वय झाल्यावर बहुधा सर्व माणसांना चष्मा लावावा लागत असल्यानें चष्म्याला ‘ चाळीशी ’ असें म्हणण्याचा प्रघात पडला आहे.

दृष्टि सातत्य (Persistence of vision).

प्रयोग २६४—सुमारें एक फूट त्रिज्या असलेलें लोखंडी तारेचें एक कडे घ्या. त्यास एका जागीं थोडया चिंध्या बांधा. त्यांवर तेल ओतून त्या पेटवा. कडें जोरानें गोल फिरवा. ज्योत निरनिराळया वेळीं निरनिराळया जागीं दिसतें कीं, तें सबंध कडें पेटलेलें दिसतें तें पाहा.

ज्योत वेगवेगळ्या वेळीं निरनिराळ्या जागीं न दिसतां तें सबंध कडें पेटलेलें आहे असें दिसतें.

माणसांच्या डोळ्यांत असा कांहीं गुण आहे कीं, पदार्थाच्या प्रतिमेचा तंतुपटलावर होणारा परिणाम, तो पदार्थ दृष्टि आड केला तरी, पटलावर प्रतिमा तयार झाल्यापासून सुमारें $\frac{1}{10}$ सेकंद तसाच कायम राहतो. यालाच **दृष्टि सातत्य** म्हणतात.

वरील प्रयोगांत ज्योत एका स्थितींत असतां तिच्या प्रतिमेचा तंतुपटलावर होणारा परिणाम नाहींसा होण्याच्या आतच ती दुसऱ्या जागीं दिसूं लागते व म्हणून ज्योत निरनिराळ्या वेळीं निरनिराळ्या जागीं न दिसतां तें सबंध कडें पेटलेलें दिसतें.

याच तत्वाचा सिनेमेटोग्राफमध्यें उपयोग केलेला असतो.

आपणास दोन डोळे असण्याचे कारणः—

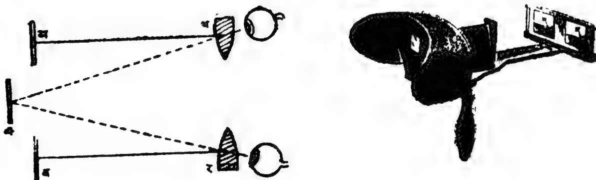
प्रयोग २६५—खरडयाच्या चौकोनी तुकडा घेऊन त्याची एक कड अगदीं आपल्या नाकासमोर येईल. अशा रीतीनें उभा धरा. एक डोळा मिटून तो पाहा; नंतर दोन्ही डोळे उघडून तो पाहा. यावेळीं त्यांत कांहीं फरक दिसतो कां याचे नीट निरीक्षण करा. एका डोळयानें पाहात असतां खरडयाची कडच तेवढी दिसते त्यास जाडी असेल असें वाटतहि नाही. पण दोन्ही डोळयांनीं पाहिले म्हणजे डाव्या डोळयास खरडयाची डावी बाजू व उजव्या डोळयास खरडयाची उजवी बाजू दिसते व त्यामुळें त्या खरडयाचा आपणासमोर असलेल्या कडेच्या मागेहि कांहीं भाग आहे हें आपल्या ताबडतोब नजरेस येतें.

प्रयोग २६६—शिवण्याच्या मशीनमधील सुईत एक डोळा मिटून दोरा ओवण्याचा प्रयत्न करा. नंतर दोन्ही डोळे उघडून त्याच सुईत दोरा ओवण्याचा प्रयत्न करा. व कोणच्या वेळीं दोरा ओवणें सोपें असतें तें पाहा. दोन्ही डोळे उघडे असतां सुईत दोरा ओवणें सोपें असतें असें तुम्हांस आढळेल.

एका सरळ रेषेंत एका मागें एक ठेवलेले खडू ज्या सरळ रेषेवर ते ठेवले आहेत त्या रेषेवरून पाहिल्यास एकाच जागीं ठेवलें आहेत असा भास होतो, पण किंचित् डावीकडे अथवा उजवीकडे वळून पाहिल्यास

कोणचा पुढें आहे व कोणचा मागें आहे हें आपणांस स्पष्ट दिसतें. पदार्थांचा पुढें आलेला भाग कोणचा व मागें गेलेला भाग कोणचा याचें नीट ज्ञान होण्याकरतां तोच पदार्थ अगदीं शेजारीं शेजारीं असलेल्या दोन ठिकाणाहून पाहावा लागतो अथवा त्याकडे पाहण्याचे दृष्टीकोन वेगवेगळे असावे लागतात. एक डोळा मिटून पाहिल्यास पदार्थांचा कोणचा भाग पुढें आहे व कोणचा मागें आहे हें नीट समजत नाहीं. पण तोच पदार्थ दोन्ही डोळयांनीं पाहिला तर दोन्ही डोळयांत सुमारें दोन इंच अन्तर असल्यामुळें त्या पदार्थाकडे पाहाण्याचे दृष्टीकोन वेगवेगळे असतात. म्हणून दोन्ही डोळयांनीं एखादा पदार्थ पाहिला म्हणजे त्याचा पुढें आलेला भाग कोणचा व मागें गेलेला कोणचा हें आपणांस नीट समजतें.

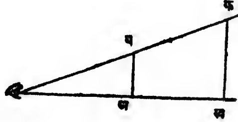
Stereoscope:—यात दोन डोळयांत जेवढें अंतर आहे तेवढ्या अंतरावर ठेवलेल्या प्रकाशलेखकानीं (cameras) एकदम काढलेलीं दोन छायाचित्रें 'अ' आणि 'ब' जागीं एकामेकाशेजारीं चिकटवून तीं 'य' आणि 'र' या बाह्यगोल अर्धभिंगातून पाहातात. हीं भिंगें पार्श्वाच्या आकाराचीं असल्यानें या भिंगामुळें 'अ' आणि 'ब' येथील चित्रांच्या तयार होणाऱ्या प्रतिमा 'क' येथें एकावर एक पडतात. म्हणून 'य' आणि 'र' भिंगांतून पाहणाऱ्या माणसास 'क' येथें फक्त एकच चित्र दिसतें. तसेंच 'य' आणि 'र' हीं भिंगें बाह्यगोल असल्यामुळें 'क' येथें दिसणारें चित्र मूळचित्रापेक्षां मोठें असतें. हें चित्र इतर साध्या छायाचित्रांपेक्षा अधिक उठावदार दिसतें.



आकृति २८७

पदार्थांचा दृश्य आकार त्या पदार्थांच्या तंतुपटलावर तयार होणाऱ्या प्रतिमेच्या आकारावर म्हणजेच पदार्थामुळें डोळयाजवळ होणाऱ्या कोना-

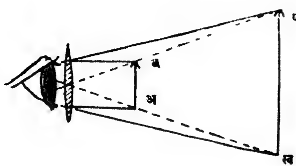
वर अवलंबून असतो. दोन पदार्थांमुळें डोळयाजवळ जर सारखाच कोन होत असेल तर ते दोन्ही पदार्थ सारख्याच लांबीचे दिसतील; पण त्यांची खरी लांबी सारखीच असणार नाहीं. 'अब' आणि 'कख' हे पदार्थ डोळयाजवळ जर सारखेच कोन करीत असतील तर ते दिसावयास सारख्याच उंचीचे दिसतील. पण त्यांच्या खऱ्या लांबीचें गुणोत्तर त्यांच्या डोळयापासूनच्या अंतरांच्या गुणोत्तराइतकें असतें. $\frac{\text{अब}}{\text{कख}} = \frac{\text{डअ}}{\text{डख}}$.



आकृति २८८

साधें सूक्ष्मदर्शकयंत्र (Simple Microscope)

साधें सूक्ष्मदर्शक यंत्र म्हणजे एक बाह्यगोल भिंग असतें. हें भिंग डोळयाजवळ ठेवून त्याचें केंद्रांतरापेक्षां कमी अंतरावर असलेले पदार्थ त्यांतून पाहिल्यास ते मोठे दिसतात. 'अब' या पदार्थाची भिंगांतून दिसणारी प्रतिमा 'कख' ही भ्रामक व सरळ असून 'अब' पेक्षां अधिक अंतरावर असते. 'अ ब' हा पदार्थ भिंगांतून स्पष्ट दिसावा म्हणून त्याची प्रतिमा 'कख' ही डोळयापासून (भिंगापासून) कमीतकमी २५ सें. मी. अंतरावर असावयास पाहिजे. अशा वेळीं पदार्थ डोळयाचे इतका जवळ असतो कीं भिंग दूर केल्यास तो आपणांस स्पष्ट दिसणार नाहीं. भिंगावांचून तो स्पष्ट दिसण्याकरतां त्यास २५ सें. अंतराइतकें म्हणजे 'कख' पर्यंत मागें ढकलत न्यावें लागेल. तसें केल्यास त्यामुळें डोळयाजवळ होणारा कोन फार लहान होईल व पदार्थहि फारच लहान दिसूं लागेल. म्हणून जो पदार्थ डोळयाचे जवळ असल्यानें आपणास स्पष्ट दिसूं शकत नाहीं तो पदार्थ भिंगामुळें स्पष्ट दिसूं लागतो.



आकृति २८९

साध्या सूक्ष्मदर्शकयंत्राचा उपयोग करतेवेळीं डोळा भिंगाचे अगदीं जवळ ठेवावा लागतो. प्रतिमा अगदी स्पष्ट दिसण्याकरता ती डोळयापासून म्हणजे भिंगापासून २५ सें. मी. अंतरावर असावी लागते. कोणतेंहि भिंग वापरलें

तरी प्रतिमेचें डोळ्यापासूनचें अंतर २५ सें. मी. असावें लागतें. म्हणून ज्या भिंगामुळें प्रतिमा २५ सें. मी. अंतरावर पडली असतां महतीकरण (Magniticatiou) महत्तम असेल त्याच भिंगामुळें पदार्थांचा दृश्य आकार महत्तम झालेला दिसेल.

$$\text{भिंगाचे सूत्र} = \frac{१}{प्र} - \frac{१}{प} = - फ$$ (भिंगाची शक्ति डायआप्टर्स)

समीकरणाच्या दोन्ही बाजूस ' प्र ' नें गुणून $१ - \frac{प्र}{प} = - प्र.\ फ$

$$\text{अथवा } \frac{प्र}{प} = - प्र.फ.$$

पण भिंगाची महत्कारीशक्ति अथवा त्यामुळें उत्पन्न झालेले महतीकरण

$$म = \frac{प्र}{प}$$

$$\therefore - म = प्र,\ फ - १$$

भिंगाचा सूक्ष्मदर्शक यंत्रासारखा जेव्हां उपयोग केला जातो तेव्हां प्रतिमा भ्रामक असते म्हणून प्र = + २५ सें. मी. अथवा $\frac{१}{४}$ मीटर असते.

$$\therefore\ म २ = - \frac{फ}{४}\ १ \text{ किंवा } म = \frac{फ}{४} + १$$

$$\therefore \text{ भिंगामुळें उत्पन्न होणारे महतीकरण} = \frac{\text{भिंगाची शक्ति (प्र. आ.)}}{४} + १$$

इतकें असतें.

यावरून असें दिसेल कीं भिंगाची शक्ति जितकी जास्त तितके महतीकरणहि जास्त. $फ = \frac{१}{\text{केंद्रांतर (मीटरमध्यें)}}$

$$\therefore म = \frac{१}{४\ कें} + १$$

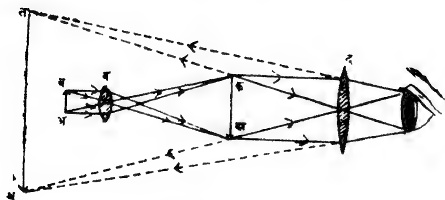
∴ महतीकरण जास्त होण्याकरतां भिंगाचें केंद्रांतर शक्य तितकें कमी पाहिजे अथवा भिंग शक्य तितकें फुगीर पाहिजे.

भिंगाची शक्ति (Dioptors) त्याच्या फुगीरपणावर अवलंबून असते म्हणजे भिंग जितके अधिक फुगीर तितकी त्याची शक्ति अधिक भिंगाचा फुगीरपणा फारच वाढला तर त्यामुळें उत्पन्न होणारी प्रतिमा चांगली रेखीव असत नाहीं म्हणून साध्या सूक्ष्मदर्शकयंत्रामुळें उत्पन्न होणाऱ्या महतीकरणास कमालमर्यादा असते.

प्रतिमेचा आकार बराच मोठा व्हावा व ती चांगली रेखीव दिसावी या करतां संयुक्त भिंगाचे सूक्ष्मदर्शक यंत्र असावें लागतें.

संयुक्त भिंगाचें सूक्ष्मदर्शक यंत्र (Compound microscope).

या यंत्रांत मुख्यतः 'ब' व 'द' हीं दोन फुगीर बाह्यगोल भिंगें एका नळींत बसविलेलीं असतात 'ब' ला 'वस्तुभिंग' (object glass) व 'द' ला दृष्टिभिंग (eye piece) असें म्हणतात 'ब' हें वस्तुभिंग 'द' या दृष्टिभिंगापेक्षां आकारानें लहान असतें. 'अ–ब' या लहान पदार्थापासून ब हें वस्तुभिंग त्याच्या केंद्रांतरापेक्षा अधिक अंतरावर ठेवतात. या भिंगामुळें 'अ ब' या पदार्थाची मोठी, खरी व उलटी अशी 'क ख' ही प्रतिमा वस्तुभिंगाच्या मागें पडते.



आकृति २९०

ही प्रतिमा 'द' या दृष्टिभिंगापासून त्याच्या केंद्रांतरापेक्षां कमी अंतरावर पडावी अशा रीतीनें 'द' हें भिंग बसविलेलें असतें. त्यामुळें 'क ख' या प्रतिमेची 'त थ' ही भ्रामक, सरळ, व मोठी प्रतिमा 'द' भिंगातून पाहाणारास दिसते. याप्रमाणें संयुक्त सूक्ष्म दर्शक-यंत्रांत महतीकरण दोन वेळ होतें.

म्हणून जर क ख = म × अ ब ($म_1$ = वस्तुभिंगाची महत्कारी

शक्ति)आणि तथ = $म_२ \times$ कख ($म_२$= दृष्टि भिंगाची महत्कारीशक्ति) असतील तर, तथ = $म_१ = म_२$ = अ ब.

म्हणजे तथ ही प्रतिमा अब या पदार्थाच्या $म_१ = म_२$ ·पट मोठी दिसेल.

$$\left[म_२ = \frac{कख}{अब} = \frac{प्र}{प} \text{ आणि } म_२ = \frac{२५}{कें (दृष्टि भिंग)} \right]$$

$$\therefore \quad \text{एकंदर महती कारण} = \frac{प्र \times २५}{प \times कें (दृष्टिभिंग)}$$

यावरून दिसून येईल कीं महत्तम महतीकरण मिळविण्याकरतां दोन्हीं भिंगें शक्य तितक्या कमी केंद्रांतराचीं असलीं पाहिजेत.

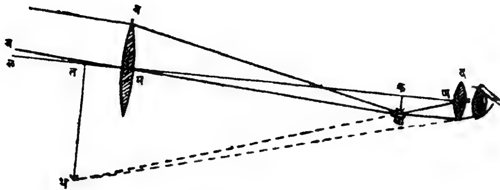
दूरदर्शक (दुर्बीण Telescope)

या यंत्रातहि सूक्ष्मदर्शक यंत्राप्रमाणें वस्तुभिंग 'ब' आणि दृष्टिभिंग 'द' अशीं दोन बाह्यगोल भिंगें असतात. वस्तुभिंग 'ब' हें मोठें, चापट व जास्त केंद्रांतराचें असतें व दृष्टिभिंग 'द' हें लहान, फुगीर व कमी केंद्रांतराचें असते.

अनंत अंतरावर असलेल्या 'अब' पदार्थाची व 'ब' या वस्तु भिंगा मुळें त्यांच्या केंद्राजवळ 'कख' ही उलट लहान व खरी प्रतिमा तयार होते. ही प्रतिमा 'द' या दृष्टिभिंगाच्या केंद्रांतरापेक्षां कमी अंतरावर पडेल अशी योजना केलेली असते. त्यामुळें 'द' या दृष्टिभिंगांतून पाहिल्यास 'कख' ची 'तथ' ही भ्रामक प्रतिमा, सरळ (कख सारखी) व मोठी दिसूं लागते.

'तथ' ही प्रतिमा 'अब' पदार्थाहून खरोखर मोठी नसते, पण ती पदार्थाच्या मानानें फारच जवळ असल्यानें मोठी दिसते. 'तथ' ही प्रतिमा स्पष्ट दिसण्याकरतां ती कमींत कमी २५ सें. मी. अंतरावर असावी लागते 'तथ' ही प्रतिमा अनंत अंतरावर पडावी अशी योजना दूरदर्शक–यंत्र वापरतांना करतात. म्हणजे 'कख' या प्रतिमेपासून 'द' हें दृष्टिभिंग त्याच्या केंद्रांतराइतक्या अंतरावर ठेवतात. अशा रीतीनें योजना केली

म्हणजे यंत्राची नित्यसंयोजना (Normal adjustment) केली



आकृति २९१

आहे असें म्हणतात. यावेळीं मक = वस्तुभिंगाचें केंद्रांतर आणि ‘ क ण ’ = दृष्टिभिंगाचे केंद्रांतर.

पदार्थ व प्रतिमा सारख्याच अंतरावर असतां

$$\text{महती करण} = \frac{\text{प्रतिमेनें डोळ्यापाशीं समाविष्ट केलेला कोन}}{\text{पदार्थानें डोळ्यापाशीं समाविष्ट केलेला कोन}}$$

पदार्थ मोठा असून दूरदर्शक यंत्र त्याच्या मध्याकडे रोखलें असेल तर त्याच्या वरच्या भागापासून येणारीं किरणें वस्तुभिंगाच्या मुख्य आंसास समांतर न येतां त्याच्याशीं लहान कोन करतील. पदार्थाचा वरचा भाग ‘ ब य ’ या रेषेवर असल्यास तो कोन ‘ य म ल ’ येवढा असेल.

प्रतिमेमुळें डोळ्यापाशीं समाविष्ट होणारा कोन ‘ तणथ ’ हा असून पदार्थामुळें होणारा कोन ∠यमल येवढा आहे.

$$\therefore \text{महती करण (दूरदर्शक यंत्राची) महत्कारी शक्ति} = \frac{\angle\text{तणथ}}{\angle\text{यमल}} \quad \because \quad \frac{\angle\text{तणथ}}{\angle\text{यमल}} = \frac{\angle\text{कणख}}{\angle\text{कमख}}$$

$$\therefore \text{महत्कारी शक्ति} = \frac{\angle\text{कणख}}{\angle\text{कमख}}$$

$$= \frac{\text{कख}}{\text{कण}} \quad \frac{\text{कख}}{\text{कम}}$$

[∠कणख व ∠कमख लहान असल्यामुळें त्यांचें गुणोत्तर त्यांच्या स्पर्श ज्यांच्या गुणोत्तराइतकें असते]

$$= \frac{\text{कम}}{\text{कण}}$$

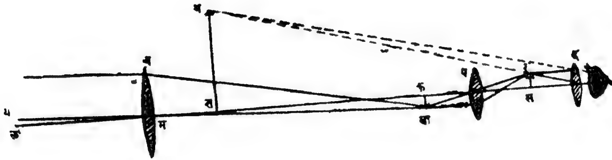
$$= \frac{\text{वस्तुभिंगाचे कद्रांतर}}{\text{दृष्टिभिंगाचे केंद्रांतर}}$$

यावरून असें दिसेल कीं, पदार्थाच्या मानानें त्याची प्रतिमा मोठी दिसण्याकरतां वस्तुभिंगाचें केंद्रांतर जितकें जास्त असणें शक्य आहे तितकें जास्त व दृष्टिभिंगाचें केंद्रांतर जितकें कमी असणें शक्य आहे तितकें कमी असलें पाहिजे.

प्रतिमा स्पष्ट दिसावी म्हणून पदार्थापासून पुष्कळ प्रकाश मिळावयास हवा. तो मिळावा म्हणून दूरदर्शक यंत्राचें वस्तुभिंग मोठें असावें लागतें.

येर्क्से (Yerkes) येथें सर्वांत मोठें दूरदर्शक यंत्र आहे. त्याच्या वस्तुभिंगाचा व्यास ४०″ इंच असून त्याचे केंद्रांतर ६० फूट आहे.

अशा यंत्रानें दिसणारी प्रतिमा पदार्थाच्या उलट असते. ती जरी उलट असली तरी आकाशांतील तारे व ग्रह पाहातांना—ते गोल असल्यामुळें



आकृति २९२

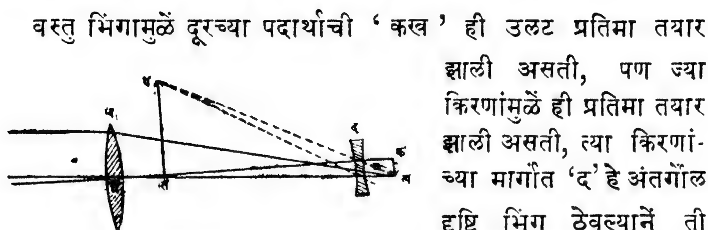
फारसा फरक पडत नाहीं, पण पृथ्वीवरील पदार्थांची प्रतिमा उलट दिसल्यास त्याविषयीं नीट कल्पना येत नाहीं; म्हणून पृथ्वीवरील दूरचे पदार्थ पाहाण्यास ज्या दूरदर्शक यंत्राचा उपयोग करतात त्यांत वस्तुभिंग व दृष्टिभिंग यांच्यामध्यें आणखी एक बाह्यगोल भिंग घालून प्रतिमा सरळ करून घेतलेली असते.

‘ व ’ या वस्तु भिंगामुळें तयार झालेल्या ‘ कख ’ या प्रतिमेपासून ‘ प ’ हें बाह्यगोल भिंग त्याच्या केंद्रांतराच्या दुप्पटी इतकया अंतरावर

ठेवलेलें असतें, त्यामुळें 'कख' च्या विरुद्ध बाजूस 'प' पासून तेवढ्याच अंतरावर 'रस' ही 'कख' येवढीच खरी, व 'कख' च्या उलट प्रतिमा तयार होते. ही प्रतिमा दृष्टि भिंगांतून पाहिल्यास तिची 'तथ' ही भ्रामक, सरळ व मोठी प्रतिमा दिसते.

गॅलिलिओचें दूरदर्शक यंत्रः––या यंत्रांतील दृष्टिभिंग साध्या दूरदर्शक यंत्राप्रमाणें बाह्यगोल नसून अंतर्गोल असते, यामुळें या यंत्राची लांबी साध्या दूरदर्शक यंत्रापेक्षां बरीच कमी असते.

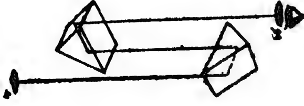
वस्तु भिंगामुळें दूरच्या पदार्थाची 'कख' ही उलट प्रतिमा तयार झाली असती, पण ज्या किरणांमुळें ही प्रतिमा तयार झाली असती, त्या किरणांच्या मार्गांत 'द' हे अंतर्गोल दृष्टि भिंग ठेवल्यानें ती क्षीयमाणांतर न राहतां वर्धमानांतर होतात व दृष्टि भिंगांतून पाहिल्यास 'तथ' हीं भ्रामक व सरळ प्रतिमा दिसूं लागते. 'कख' पासून दृष्टि भिंगाचें अंतर त्याच्या केंद्रांतराइतकें असते व त्यामुळें 'तथ' ही प्रतिमा अर्थातच अनंत अंतरावर पडते; अथवा ज्या वेळीं या यंत्राची नित्य संयोजना केलेली असतें त्यावेळीं दृष्टि भिंग व वस्तु भिंग याचे मधील अंतर त्यांच्या केंद्रांतराच्या वजावाकी इतकें असते. (Binoculars or opera glasses) मध्यें अशाच प्रकारच्या दोन दूरदर्शक यंत्रांचा उपयोग केलेला असतो.



आकृति २९३

(Field glasses) या यंत्रांत दोन्ही डोळ्यानीं पाहातां यावे म्हणून दोन साधी दूरदर्शक यंत्रे उपयोगांत आणलेलीं असतात. पार्श्वामुळें होणाऱ्या पूर्ण परावर्तनाचा उपयोग करून या यंत्राची लांबी कमी केलेली असते. प्रत्येक नळींत दोन पार्श्व एकमेकाशीं काटकोन करणाऱ्या पातळ्यांत आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें ठेवलेलें असतात. वस्तु भिंगामुळें उत्पन्न झालेल्या प्रतिमेंत खालची बाजू वर व वरची खाली, आणि

डाव्याचे उजवे व उजव्याचे डावे झालेलें असते. एका पार्श्वांतून होणाऱ्या परावर्तनामुळें बाजूंची अदलाबदल होते पण खालचें वर व वरचे खाली होत नाहीं. दुसऱ्या पार्श्वांतील परावर्तनामुळे बाजूची अदलाबदल न होतां फक्त वरचे खाली व खालचे वर होते त्यामुळें (Field glasses) मधून दिसणारी प्रतिमा सरळच दिसते.



आकृति २९४

पाणबुडीचा डोळा परिदर्शक (Peri scope) पाणबुड्यांतील लोकांना समुद्रावरील जहाजे वगैरे पाहातां यावी म्हणून या यंत्राचा उपयोग करतात. यांत दोन दूरदर्शक यंत्रें, त्यांची वस्तुभिंगें एकमेकांकडे करून ठेवलेली असतात. किरणें परावृत्त करण्याकरतां वरच्या खालच्या अंगास एकएक असें दोन पार्श्व बसविलेलें असतात.



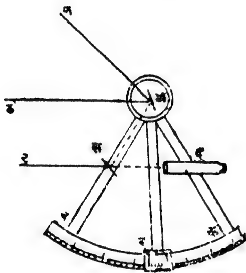
आकृति २९५

दूरच्या पदार्थापासून येणारी किरणें वरच्या पार्श्वाच्या ठिकाणीं परावृत्त होऊन 'द' या फुगीर भिंगांतून जातात व त्यामुळें 'ट' येथें त्याची (पदार्थाची) खरी प्रतिमा तयार होते. ब हें जास्त केंद्रांतराचें भिंग (बाह्यगोल) 'ट' पासून त्याच्या केंद्रांतराइतक्या अंतरावर ठेवलेलें असतें. यामुळें प्रतिमेपासून निघालेलीं किरणें भिंगांतून गेल्यावर समातर होतात. ही किरणें नळीच्या आंसाशीं समांतर असल्यानें लांब व बारीक नळींतूनसुद्धां सहज जाऊं शकतात.

नळीच्या खालच्या टोंकाशीं असलेल्या ब च्या जास्त केंद्रांतराच्या चापट भिंगावर हीं किरणें पडतात. भिंगांतून हीं किरणें गेल्यावर त्यांच्या मार्गांत असलेल्या पार्श्वामुळें तीं परावर्तन पावतात म्हणून 'ट' या ठिकाणीं प्रतिमा तयार न होता ती 'त' या जागीं तयार होते. ही प्रतिमा 'द' या दृष्टि भिंगातून पाहिल्यास मोटी दिसूं लागते.

या यंत्रांतून जाणाऱ्या किरणांच्या मार्गाची नीटशी कल्पना बाजूचें आकृतीवरून करतां येईल.

कोनीय अंतर मापक (Sextant) दूरच्या दोन पदार्थांमधील कोन मोजण्याकरतां या यंत्राचा उपयोग करतात. 'अब' आणि 'अक' या पट्ट्या 'बक' या रेखांकित वर्तुळाकृति चापास पक्क्या जोडलेल्या असतात. 'अ' भोंवतीं फिरणारी 'अड' ही आणखी एक पट्टी असते. या पट्टीस 'ड' येथें एक व्हर्नियर पट्टी लाविलेली असते. 'अड' पट्टीवर 'अ' येथें एक व 'अब' पट्टीवर 'ख' येथें एक असें दोन आरसे बसविलेले असतात. 'ख' येथील आरशाचा फक्त अर्धा भागच परावर्तक केलेला असतो. त्यामुळें 'द' या दूरदर्शकयंत्राकडे येणाऱ्या प्रकाशाचा कांहीं भाग 'ख' वर परावृत्त होतो. व कांहीं त्याच्या (ख च्या) वरील भागांतून प्रत्यक्षच 'ट' कडून येतो. जेव्हां 'अड' ही पट्टी फिरविल्यामुळें 'अ' व 'ख' येथील आरसे एकमेकांस समांतर होतात, तेव्हां दूरच्या पदार्थापासून येणारीं कांहीं किरणें दोन्ही आरशावर परावर्तन पावून व मूळच्या दिशेला समांतर होऊन दूरदर्शक-यंत्रांकडे जातात व कांहीं 'ख' च्या पारा न लाविलेल्या भागांतून प्रत्यक्ष दूरदर्शक यंत्राकडे जातात. हीं सर्व किरणें एकमेकांस समांतर असल्यानें तीं वस्तुभिंगाच्या केंद्रीय पातळींत केंद्रित होतात व पदार्थाची एकच प्रतिमा दिसते. या वेळीं 'ड' येथील व्हर्नियरची खूण चापावरील शून्याच्या खुणेशीं जुळते. 'न' येथील ताऱ्याची उंची मोजावयाची झाल्यास दूरदर्शक क्षितिजसमांतर राहील अशा रीतीनें यंत्र धरा. 'नअ' दिशेनें येणारें किरण प्रथम 'अ' वर व नंतर 'ख' वर परावर्तन पावून नअ–अख–खद मार्गानें जाईल असें करा म्हणजे न ताऱ्याची प्रतिमा क्षितिजसमांतर पातळींत दिसूं लागेतों 'अड' फिरवा. या वेळीं 'न'ची उंची नअठ इतकी असेल. 'नअड' हा कोन



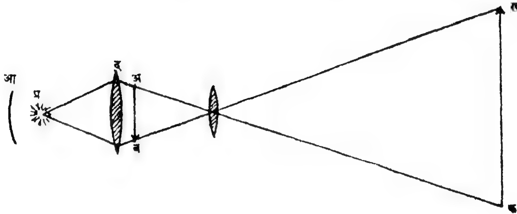
आकृति २९६

'कअड' कोनाच्या म्हणजे जितके अंश 'अड' पट्टी फिरविली असेल त्याच्या दुप्पट असतो.

म्हणून त्या ताऱ्याची उंची 'अड' पट्टी जितके अंश फिरली असेल त्याच्या दुप्पट अंश असते. ही उंची एकदम मोजता यावी म्हणून 'बक' चापावरील प्रत्येक अंशाच्या खुणेवर दुप्पट अंश दाखविणारा आंकडा असतो.

Magic Lantern जादूचा दिवा.
Optical Lantern दृक्दीप.

बाह्यगोल भिंगाच्या सहाय्यानें लहानशा पारदर्शक चित्राची खरी, स्पष्ट व मोठी प्रतिमा पडद्यावर पाडण्याकरतां या यंत्राचा उपयोग करतात. ज्या भिंगाच्या सहाय्यानेंही प्रतिमा पडद्यावर पाडतात त्यास वस्तुभिंग म्हणतात. प्रतिमा पडद्यावर स्पष्ट दिसण्याकरता चित्रातून पुष्कळ व प्रखर प्रकाश पडद्याकडे गेला पाहिजे



आकृति २९७

हें साधण्याकरतां (१) प्रखर तेजाचा 'प्र' हा दिवा, (२) प्रकाश क्षीयमाणांतर करण्याकरतां 'द' हें संचायक (Condensing) भिंग व (३) दिव्याचा इतर दिशांनीं जाणारा प्रकाश चित्रावर परावृत्त करण्याकरतां 'आ' हा अंतर्गोल आरसा इतक्या गोष्टी अवश्य आहेत. (१) 'प्र' हा दिवा 'आ' या आरशासमोर ठेवल्यानें दिव्यापासून निघणारा व चित्राच्या विरुद्ध दिशेनें जाणारा प्रकाश परावृत्त होऊन चित्राकडे येतो. (२) संचायक भिंगाचीं कार्यें दोन आहेत. तीं (अ) दिव्यापासून निघणारा शक्य तितका प्रकाश एकत्र करणें, (ब) तो

चित्रांतून वस्तुभिंगाकडे जाईल अशा रीतीनें त्यास वळविणें, या करतां संचायक भिंग, बाह्यगोल, मोठे व कमी केंद्रांतराचें असणें अवश्य आहे. भिंग मोठें असल्यानें पुष्कळ प्रकाश एकत्र केला जातो. हें भिंग चित्रापेक्षां नेहमींच मोठें असावें लागतें. या भिंगाचें कार्य त्यांतून जाणारा प्रकाश वस्तुभिंगाकडे वळविण्याचे असल्यानें दिव्याची खरी प्रतिमा वस्तु भिंगावर पडेल अशा रीतीनें तें दिव्यापुढें ठेवतात, दिवा व वस्तु भिंग यांचेमधील अंतर कायम ठेवल्यास संचायक भिंगाचें केंद्रांतर जितकें कमी तितकें तें दिव्याचें अधिक जवळ ठेवावें लागतें. व त्यामुळें दिव्यापासून निघणारा प्रकाश अधिक प्रमाणांत एकत्र केला जातो.

दिव्याचा उपयोग करतेवेळीं संचायकभिंगामुळें दिव्याची प्रतिमा वस्तुभिंगावर पडेल अशा रीतीनें दिवा ठेवावा, व संचायक भिंगासमोर चित्र उलटे ठेवावें. चित्राची स्पष्ट प्रतिमा पडद्यावर पाडण्याकरतां वस्तु भिंग पुढेंमागे सरकवावें. असें केल्यानें दिव्याची प्रतिमा वस्तुभिंगावर पडणार नाहीं, म्हणून दिवा सरकवून त्याची प्रतिमा पूर्वीप्रमाणें वस्तुभिंगावर पडेल असें करावें.

सिनेमॅटोग्राफ (cinematograph):—

याची रचनाहि तत्वतः वरील- यंत्राप्रमाणेंच असते यांत एकाच हालचालीची, दर सेकंदास एकामागून अशीं वीस प्रकाशलिखित चित्रें जी वर आहेत अशी पारदर्शक पट्टी असते. ज्या जागीं वरील यंत्रांत पारदर्शक चित्रें ठेवतात त्या जागीं पट्टीवरील चित्रें एकामागून एक यावी अशी योजना केलेली असते. एका सेकंदांत दिव्यापुढें सुमारें वीस चित्रें तरी यावीं अशा रीतीनें पट्टी पुढें सरकत असते. पट्टीवरील चित्र दिव्यापुढें आले म्हणजे पट्टी क्षणभर थांबते व नंतर पुढें सरकते. पट्टी पुढें सरकून दुसरें चित्र दिव्यापुढें येईतों वस्तुभिंग एका फिरत्या चकतीमुळें झांकले जाते व त्यामुळें पडद्यावर त्यावेळीं प्रकाश पडत नाहीं. दुसरें चित्र दिव्यापुढें येतांच चकती फिरून वस्तुभिंग खुलें होतें व पडद्यावर प्रतिमा तयार होते. याप्रमाणें एकाच हालचालीचीं, एकामागून एक अशी निरनिराळ्या स्थितींतील चित्रें खरोखर जरी थोडथोड्या वेळानें पडद्यावर

दिसत असलीं तरी दृष्टिसातत्यामुळें ते एकच हालतें चित्र आहे असा भास होतो.

प्रश्नसंग्रह २६ वा.

(१) साध्या प्रकाशलेखनयंत्राचें वर्णन लिहा. प्रकाशग्राही काचेवर आपणास हवा असेल तेवढाच उजेड पाडता यावा म्हणून यांत कार्य योजना केलेली असते ?

(२) डोळा म्हणजे एक प्रकाशलेखनयंत्रच आहे असें म्हणतात तें कां ? डोळ्यापासून निरनिराळ्या अंतरावर असलेल्या पदार्थांची स्पष्ट प्रतिमा दिसण्याकरता डोळ्यांत काय योजना केलेली असतें ? अति समीप बिंदु म्हणजे काय ?

(३) बाह्यगोल भिंगाचा सूक्ष्मदर्शक यंत्रासारखा कसा उपयोग करतां येतो.

(४) संयुक्त भिंगाच्या सूक्ष्मदर्शकयंत्रानें नुसत्या बाह्यगोल भिंगापेक्षां पुष्कळच मोठी प्रतिमा मिळविता येते तीं का ?

(५) दूरदर्शकयंत्राचें वर्णन लिहा. त्यांतून जाणाऱ्या किरणाचे मार्ग आकृति काढून दाखवा. दूरदर्शक यंत्राचे वस्तुभिंग दृष्टीभिंगापेक्षा मोठें असण्याचे कारण काय ? तसेंच तें चापट कां असतें ?

(६) चित्रक्षेपक (Optical or magic lantern) चें वर्णन लिहा. त्यांतील निरनिराळ्या भागाचे कार्य नीट समजाऊन द्या.

(७) पाणबुडीच्या डोळ्याचें वर्णन लिहा.

(८) Field glasses मध्यें दोन पार्श्व एकमेकांशीं काटकोन करणाऱ्या पातळ्यांत ठेवलेले असतात. ते तसे ठेवण्याचें कारण काय ?

(९) ताऱ्याची उंची मोजण्याकरता जे यंत्र उपयोगांत आणतात त्याचें वर्णन लिहा.

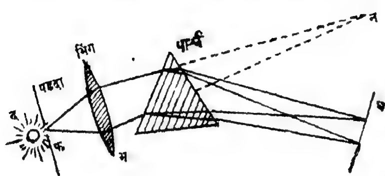
(१०) कांहीं अंतर्गोल व कांहीं बाह्यगोल भिंगें दिलीं असतां त्यांचे साहाय्यानें दूरदर्शकयंत्र कसें तयार कराल ?

प्रकरण २७ वें.

किरण-विकीरण (Dispersion).

त्रिकोणी पार्श्वांत शिरणारीं किरणें जरी शुभ्र प्रकाशाचीं असलीं तरी त्यांतून बाहेर पडणारीं किरणें शुभ्र नसून रंगीत असतात ही गोष्ट पार्श्वाविषयीं प्रयोग करतांना तुमच्या सहज लक्षांत आली असेल. हीच गोष्ट अधिक चांगल्या रीतीनें पुढीलप्रमाणें दाखवितां येईल.

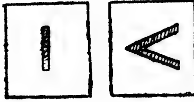
प्रयोग २६७—अंधाऱ्या खोलींत ‘ द ’ या तेजस्वी दिव्यासमोर ‘ फ ’ हा बारीक फट असलेला पडदा ठेवा. फटीसमोर ‘ भ ’ हें बाह्यगोल भिंग ठेवा. फटींतून जाणारा प्रकाश भिंगांतून गेल्यामुळें फटीची खरी प्रतिमा ‘न’ येथें पडद्यावर पडेल. भिंग आणि पडदा यांच्यामध्यें त्रिकोणी पार्श्व ठेवा. किरणें पार्श्वांतून जातांना वळतील व ‘ ध ’ येथील पडद्यावर केंद्रित होऊन एक रंगीत पट्टा दिसूं लागेल. या रंगीत पट्ट्यांत कोणचे रंग आहेत, ते कोणच्या क्रमानें आहेत, इंद्रधनुष्यांत दिसणारे रंग व हे रंग एकच आहेत का, इत्यादि गोष्टींचें नीट निरीक्षण करा.



आकृति २९८

(या प्रयोगांत ‘ भ ’ भिंगापासून ‘ न ’ प्रतिमेपर्यंत किरणांच्या भागाची जितकी लांबी आहे तितकीच लांबी भ–थ–ध या मार्गानें येणाऱ्या त्याच किरणांची असावयास पाहिजे).

अशा रीतीनें तयार झालेल्या रंगीत पट्ट्यास ‘ **रंगपट्ट** ’ (Spectrum) असें म्हणतात. हा रंगपट्ट तयार होण्याचें मुख्य कारण म्हणजे पार्श्वांतून जाणाऱ्या शुभ्र प्रकाशाचें पार्श्वामुळें पृथ:करण होऊन निरनिराळ्या रंगाचीं किरणें उत्पन्न होतात हें आहे. यांतील सर्व तांबड्या रंगाचीं किरणें केंद्रित होऊन रंगपट्टांतील तांबडी पट्टी, हिरव्या रंगाच्या किरणांमुळें हिरवी पट्टी याप्रमाणें निरनिराळ्या रंगांच्या पट्ट्या तयार होतात. या रंगीत पट्ट्या



आकृति २९९

म्हणजे ‘फ’ फटीच्या निरनिराळ्या रंगांच्या प्रतिमा असतात ही गोष्ट पडद्यांतील फटीचा आकार बदलून सहज दाखवितां येईल.

वरील प्रयोगावरून असें दिसून येईल कीं शुभ्र प्रकाशाचें किरण पार्श्वांतून गेलें असतां (१) आपला मार्ग बदलतें (२) त्याचें पृथःकरण होऊन त्यापासून निरनिराळ्या रंगांचीं किरणें उत्पन्न होतात. या रंगीत किरणें उत्पन्न होण्याच्या क्रियेला ‘**किरण विकीरण**’ Dispersion असें म्हणतात.

न्यूटननें या गोष्टीचा शोध पहिल्यानें लावला. त्यास रंगपट्टांत तांबडा, नारिंगी, पिवळा, हिरवा, अस्मानी, निळा व जांभळा असे एकंदर सात रंग आढळून आले.

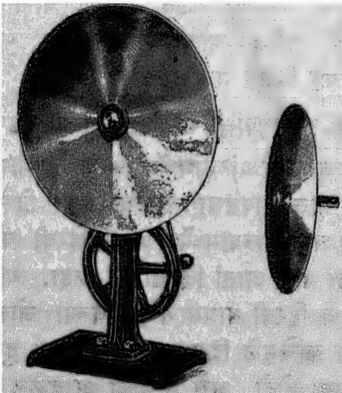
प्रयोग २६८—मागील प्रयोगांत सांगितल्याप्रमाणें उपकरणांची मांडणी करून पडद्यावर रंगपट्ट मिळवा. पार्श्व व रंगपट्ट यांच्यामध्यें प्रकाशकिरणांच्या मार्गांत तांबड्या रंगाची कांच धरा. रंगपट्टापैकीं कोणचा भाग दिसतो तें पाहा. तांबड्या काचेच्या ऐवजीं हिरवी, जांभळी अशा कांचा धरून पाहा. प्रत्येक वेळीं कोणचा भाग दिसतो याचें नीट निरीक्षण करा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं ज्या रंगाची कांच आपण पार्श्वांतून निघणाऱ्या किरणांच्या मार्गांत धरली असेल त्याच रंगाचा पट्टा फक्त आपणांस दिसतो. बाकीच्या रंगाचे पट्टे दिसत नाहींत.

प्रयोग २६९—मागीलप्रमाणेंच उपकरणांची मांडणी करा व पडद्यावर रंगपट्ट मिळवा. पडद्यांतील फट व पार्श्व यांच्यामध्यें किरणांचें मार्गांत तांबडी कांच धरा म्हणजे पडद्यावर फक्त तांबड्या रंगाचा पट्टा दिसेल. तांबडी कांच व पडद्यावरील तांबडा पट्टा यांच्यामध्यें आतां हिरवी कांच धरा व पूर्वीं दिसत असलेला तांबडा पट्टा आतां दिसतो कां पाहा. याचप्रमाणें तांबडी व जांभळी, जांभळी व हिरवी याप्रमाणें कांचेच्या जोड्या घेऊन प्रयोग करा. पडद्यावर एका कांचेमुळें दिसणारा रंगीत पट्टा दुसरी रंगीत कांच मध्यें आणतांच दिसेनासा होतो, असें तुम्हांला आढळेल.

वरील प्रयोगावरून असें दिसून येईल कीं ज्या रंगाची कांच आपण घेतली असेल त्याच रंगाचीं किरणें तिच्यांतून जाऊं शकतात. बाकीच्या रंगांचीं किरणें तिच्यांतून जाऊं शकत नाहींत. अथवा निराळया शब्दांत सांगावयाचें म्हणजे पदार्थाचा रंग, तो ज्या रंगाचीं किरणें शोषूं शकत नाहीं, त्यावरून ठरवितां येतो. जसें, तांबडया रंगाची कांच तांबडया रंगाचीं किरणें सोडून बाकी सर्व रंगांचीं किरणें शोषून घेते.

प्रयोग २७०--सूर्यप्रकाशांत तांबडी कांच धरा व तिच्यापुढें घाशीव कांचेचा पडदा धरा, त्यावर कोणच्या रंगाचा प्रकाश दिसतो तो पाहा. तो तांबडा आहे असें दिसेल. याप्रमाणें रंगपट्टांत दिसणाऱ्या सात रंगांच्या कांचा घेऊन प्रयोग करा. ज्या रंगाची कांच तुम्हीं घेतली असेल त्याच रंगाचा प्रकाश तुम्हांस पडद्यावर दिसेल.

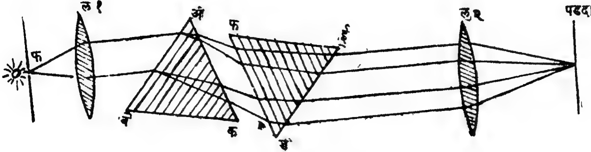
ज्याअर्थी रंगीत कांचामधून त्या ज्या रंगाच्या असतील त्याच रंगाचा प्रकाश जाऊं शकतो व इतर रंगांचा प्रकाश जाऊं शकत नाहीं, व ज्या अर्थी सूर्यप्रकाश या वेगवेगळया सातहि रंगांच्या कांचांतून त्या एकएकट्या असतांना जाऊं शकतो त्याअर्थी सूर्यप्रकाशांत या सातहि रंगांचीं किरणें असलीं पाहिजेत. म्हणून सूर्यप्रकाश या सात रंगांचा बनलेला आहे.



आकृति ३००

प्रयोग २७१--रंगपट्टांत दिसणाऱ्या रंगांचें क्षेत्रफळ व त्यांचा क्रम कायम ठेवून एक गोल कागद रंगवा. या गोल कागदाच्या मध्यभागीं एक बारीक छिद्र पाडा. हा कागद सूत कांतण्याच्या टकळीवर अथवा विद्युत्चलनीवर ठेवा. टकळी चलनी अथवा यास जोरानें गति द्या व कागदाचा रंग कोणचा दिसतो तो पाहा. तो तुम्हांस जवळ जवळ पांढरा दिसेल.

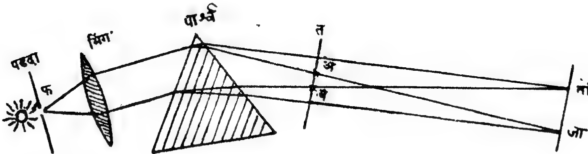
प्रयोग २७२—प्रयोग २६७ मध्यें सांगितल्याप्रमाणें प्रयोगाची मांडणी करा. 'फ' फटीपासून $ल_1$ भिंगाचें अंतर त्याच्या केंद्रांतरांइतकें असूं द्या. म्हणजे त्यांतून बाहेर पडणारीं किरणें एकमेकांस समांतर असतील. 'अबक'



आकृति ३०१

पार्श्वांतून बाहेर पडणाऱ्या किरणाच्या मार्गांत दुसरा एक त्याच पदार्थाचा व तेवढाच वक्रकारी कोन असलेला 'डईफ' पार्श्व आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें ठेवा, म्हणजे त्याची 'ईफ' कड पहिल्या पार्श्वाच्या 'अब' कडेशीं समांतर राहील अशा रीतीनें तो ठेवा. या पार्श्वांतून बाहेर पडणाऱ्या किरणांच्या मार्गांत $ल_2$ हें दुसरें भिंग ठेवा. या भिंगाच्या केंद्रांतराइतक्या अंतरावर पडदा ठेवा म्हणजे पडद्यावर 'फ' फटीची प्रतिमा दिसेल. ती रंगीत आहे का पाहा. ती रंगीत नसून स्वच्छ पांढरी आहे असें तुम्हांस आढळेल.

प्रयोग २७३—प्रयोग २६७ मध्यें सांगितल्याप्रमाणें प्रयोगाची मांडणी करा व फटीच्या रंगीत प्रतिमा ज्या जागीं केंद्रित होतात तेथें पडदा न



आकृति ३०२

ठेवतां तो पार्श्वाचे बाजूस 'त' ठिकाणीं ठेवा. रंगपट्ट आतां पूर्वीप्रमाणें दिसतो का पाहा. रंगपट्ट पूर्वीप्रमाणें दिसत नसून त्याचे ऐवजीं रंगीत कडा असलेला 'अब' हा पांढरा भाग दिसतो. पडद्याच्या 'अब' या भागावर

सातहि रंगांचीं किरणें एकमेकांवर पडतात व त्यांच्या मिश्रणामुळें त्या जागीं पांढरा पट्टा दिसतो.

पांढरा प्रकाश हा निरनिराळ्या सात रंगांचा बनलेला आहे ही गोष्ट वरील सर्व प्रयोगांवरून सहज सिद्ध होते.

प्रयोग २७४—प्रयोग २६७ मध्ये सांगितल्याप्रमाणें उपकरणांची मांडणी करा, व तोच प्रयोग (१) एकाच पदार्थाचे पण निरनिराळे वक्रकारी कोन असलेले पार्श्व घेऊन व

(२) एकच वक्रकारी कोन असलेले पण निरनिराळ्या पदार्थांचे पार्श्व घेऊन करा.

रंगपट्टाच्या विस्तारांत काय फरक होतो तो पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं रंगपट्टाचा विस्तार (१) पार्श्व ज्या पदार्थाचा तयार केलेला असेल त्यावर व (२) पार्श्वाच्या वक्रकारीकोनावर अवलंबून असतो.

शुद्धरंगपट्ट (Pure spectrum) :– पडद्यावर दिसणाऱ्या रंगपट्टांतील कोणत्याहि बिंदूचे ठिकाणीं जर एकाच रंगाचा प्रकाश पडत असेल तर त्या रंगपट्टास शुद्ध रंगपट्ट असें म्हणतात.

ज्या फटींतून प्रकाश येतो त्या फटीच्या रेखीव व स्पष्ट प्रतिमा जर पडद्यावर पडत नसतील तर निरनिरळ्या रंगांच्या प्रतिमा एकमेकांवर पडतील व रंगपट्ट शुद्ध राहाणार नाहीं, याकरतां शुद्ध रंगपट्ट मिळवावयाचा झाल्यास फटीच्या स्पष्ट व रेखीव प्रतिमा दिसतील अशी योजना केली पाहिजे.

(१) प्रयोगानें असें दाखवितां येईल कीं पार्श्व ज्या वेळीं च्युतिकोन लघुतम होईल अशा स्थितींत ठेवलेला असतो त्यावेळीं फटीची प्रतिमा स्पष्ट दिसते, म्हणून शुद्ध रंगपट्ट मिळविण्याकरितां पार्श्व च्युतिकोन लघुतम होईल अशा स्थितींत ठेवला पाहिजे.

(२) फट जर रुंद असेल तर फटीच्या एकमेकाशेजारच्या पडद्यावरील प्रतिमा एकमेकावर पडतील व रंगपट्ट अशुद्ध होईल. याचे उलट फट जर फारच अरुंद असेल तर तिच्या मधून फारच कमी प्रकाश येईल व त्यामुळें

रंगपट्ट स्पष्ट दिसणार नाहीं. म्हणून शुद्ध रंगपट्ट मिळविण्याकरितां फट शक्य तितकीं अरुंद असली पाहिजे.

शुद्ध रंगपट्ट मिळविण्याकरितां करावी लागणारी योजना:—

प्रयोग २७५—अंधाऱ्या खोलींत एका तेजस्वी दिव्यासमोर 'फ' ही फट असलेला पडदा ठेवा. फटी समोर 'त' हें बाह्यगोल भिंग त्याच्या केंद्रांतराइतक्या अंतरावर ठेवा. पार्श्वावर पडणारीं किरणें लघुतम च्युतिकोन करून बाहेर पडतील अशा स्थितींत पार्श्व ठेवा. पार्श्वांतून बाहेर पडणाऱ्या किरणांच्या मार्गांत 'द' हें दुसरें बाह्यगोल भिंग ठेवा. व 'द' पासून त्याच्या केंद्रातराइतक्या अतरावर त्याच्या मुख्य आंसाशीं काटकोन करून 'ध' हा पडदा ठेवा म्हणजे पडद्यावर शुद्ध रंगपट्ट मिळेल.



आकृति ३०३

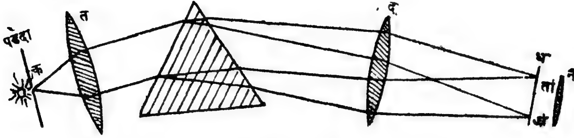
'त' हें बाह्यगोल भिंग फटीपासून त्याच्या केंद्रांतराइतक्या अंतरावर असल्यानें त्यातून बाहेर पडणारीं किरणें एकमेकांस समांतर असतील. हीं पार्श्वांत शिरणारीं किरणें समांतर असल्यानें एकेका रंगाचीं किरणें पार्श्वांतून जातांना व बाहेर पडल्यावरहि एकमेकांस समांतर असतील; पण निरनिराळ्या रंगांचीं किरणें मात्र एकमेकांस समांतर असणार नाहींत. या समांतर किरणांच्या मार्गांत 'द' हें बाह्यगोल भिंग असल्यानें निरनिराळ्या रंगांचीं समांतर किरणें भिंगाच्या केंद्रीय पातळींत निरनिराळ्या ठिकाणीं केंद्रित होतील व त्यामुळें शुद्ध रंगपट्ट मिळेल.

'द' भिंगाच्या केंद्रीय पातळींत तयार होणारा रंगपट्ट पडद्यावर न घेतां दुसऱ्या बाह्यगोल भिंगांतून पाहिल्यास त्याची मोठी व भ्रामक प्रतिमा दिसेल.

पडद्यावर दिसत असणारा रंगपट्ट आपणास परावृत्त प्रकाशामुळें दिसतो. प्रकाश ज्या पदार्थावर परावर्तन पावतो तो पदार्थ प्रकाशाचा बराच भाग शोषून घेतो व थोडा भाग परावृत्त करतो. यामुळें पडद्यावरील रंगपट्ट भिंगांतून प्रत्यक्ष दिसणाऱ्या रंपगट्टाइतका स्पष्ट असू

शकत नाहीं. भिंगातून पाहाण्याचा हा विशेष फायदा असल्यानें फटीची रुंदी बरीच कमी करता येते, व त्यामुळें अधिक शुद्ध रंगपट्ट मिळूं शकतो.

Spectroscope :– (**वर्णदर्शक**) या यंत्राची रचना वरील तत्त्वावरच केलेली असते. यांत (प्र. २७५ ची आकृति) ' फ ' ही फट व ' त ' हें



आकृति ३०४

भिंग हीं एका नळींत बसविलेलीं असतात. या नळीस (Collimotor) 'संरेखिका' = यंत्र म्हणातात. ' द ' व ' न ' हीं भिंगें दुसऱ्या नळींत बसवून दूरदर्शक यंत्र तयार केलेलें असतें. या दोन्ही नद्यांच्या मधोमध गोल फिरणाऱ्या एका बैठकीवर पार्श्व ठेवण्याची योजना असते.

प्रकाश देणारा पदार्थ जेव्हां तापलेला घन पदार्थ(विजेच्या दिव्यांतील तापलेली तार, विद्युत्चापांतील कर्ब) अथवा द्रव पदार्थ असतो तेव्हां रंगपट्ट सलंग (Continuous) असतो, म्हणून त्यास ' **अखंड रंगपट्ट** ' (Continuous Spectrum) असे म्हणतात. पण जेव्हां तो तापलेला वायू असतो तेव्हां रंगपट्ट सलंग नसून तुटक तुटक रेषांसारखा दिसतो. (मिठाच्या द्रावणांत भिजविलेला ॲस्बेस्टॉसचा तुकडा बन्सनच्या दिव्याच्या ज्योतींत धरला असतां त्यापासून पिवळा प्रकाश निघतो) हा पिवळा प्रकाश वर्णदर्शकामधून पाहिला असतां नेहमीच्या रंगपट्टाऐवजीं फक्त पिवळ्या रंगाच्या दोन रेषा दिसतात. अशा प्रकारच्या रंगपट्टास **रेषाकृति खंडित रंगपट** (Line Sectram) असें म्हणतात.

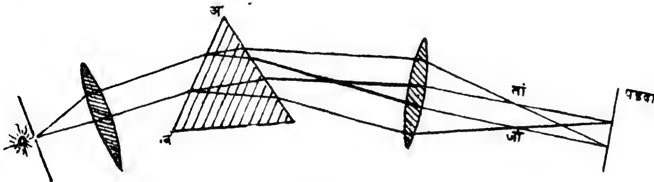
प्रयोग २७६–एका अंधाऱ्या खोलींत सरेखिकेच्या फटीसमोर सोडियमची ज्योत ठेवा व वर्णदर्शकामधून पाहा. खोलीचीं दारें उघडून प्रकाश हळू हळू वाढवा व शेवटीं आरशाच्या सहाय्यानें सूर्यप्रकाश सोडियमच्या ज्योती-वरून संरेखिकेच्या फटीवर पाडा. व रंगपट्टांत काय फरक होतो तो पाहा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं जसजसा दिव्याचा प्रकाश वाढत जातो

तसतसें सोडियमच्या रेषांचें तेज कमी कमी होतें व दिव्याच्या तेजामुळें उत्पन्न होणारा रंगपट्ट अधिकाधिक स्पष्ट दिसूं लागतो, व ज्या जागीं पूर्वी सोडियमच्या रेषा दिसत होत्या त्या जागीं आतां रंगपट्टांत काळया रेषा दिसतात.

यावरून असें सिद्ध हो तेंकीं ज्या रंगाचा प्रकाश सोडियमच्या वाफेमुळें उत्पन्न होतो त्याच रंगाचा प्रकाश सोडियमची वाफ दिव्याच्या शुभ्र प्रकाशांतून शोषून घेते.

वर्णदर्शकामधून पाहिल्यास सूर्यप्रकाशामुळें उत्पन्न होणाऱ्या रंगपट्टांत अनेक काळया रेषा दिसतात. या काळया रेषा सूर्यप्रकाशातील निरनिराळे रंग त्याच्याभोंवतीं असलेल्या, ऊष्ण वायूंनीं शोषल्यामुळें उत्पन्न होत असल्या पाहिजेत. या रेषावरून सूर्याभोंवतीं कोणचे पदार्थ वायूरूपस्थितींत आहेत हें ठरवितां येतें. या रेषा फ्रॅन होफर (Fraun Hofer) नांवाच्या शास्त्रज्ञानें पहिल्यानें शोधून काढल्यामुळें त्यांना **फ्रॅन होफरच्या रेषा** असें म्हणतात.

पूरक रंग (Complementary Colours) पूर्वीं सांगितल्याप्रमाणें शुद्ध रंगपट्ट मिळवा. पार्श्वाच्या ' अब ' कडेची भिंगामुळें जेथें प्रतिमा तयार होईल तेथें पडदा ठेवा, म्हणजे पडद्यावर फटीची पांढऱ्या रंगाची प्रतिमा



आकृति ३०५

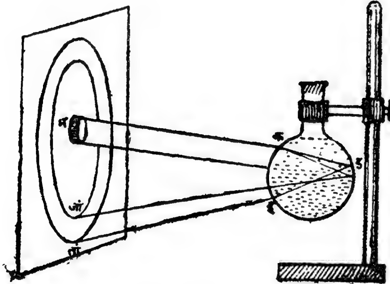
मिळेल. तांबडा प्रकाश अडविला जाईल अशा रीतीनें तांबडया प्रकाशाच्या मार्गांत एक जाड कागदाचा तुकडा धरा. पडद्यावरील प्रतिमा कोणच्या रंगाची दिसते तें पाहा. ती निळसर हिरवी आहे असें दिसेल. याचप्रमाणें ज़ांभळा प्रकाश अडविल्यास प्रतिमा पिवळया रंगाची दिसेल. पडदा हळू-

हळू पुढे सरकवून जेव्हां रंगपट्टांतील जांभळा, निळा व हिरव्या रंगाचा कांहीं भाग झांकला जाईल तेव्हां प्रतिमा लालभडक दिसेल. रंगपट्टांत पेन्सिल धरून हिरवा व पिवळा रंग अडविला तर प्रतिमा रक्तवर्णाची दिसते. याप्रमाणें शुभ्र प्रकाशांतून कोणचा रंग काढला असतां कोणचा रंग राहातो हें ठरवितां येतें. **ज्या दोन रंगांचा मिळून पांढरा रंग होतो त्यांना पूरक रंग** (Complementary Colurs)**असें म्हणतात.** पूरकरंगाच्या जोडया पुढें दिल्याप्रमाणें आहेत.

तांबडा.	नारिंगी.	पिवळा.	जांभळा.	हिरवा.
निळसर.	हिरवट निळा.	निळा.	हिरवट.	रक्तासारखा.
हिरवा.			पिवळा.	किरमिजी.

इंद्रधनुष्य—पाऊस पडत असतां आकाशांत जो एक रंगपट्ट दिसतो त्यास इंद्रधनुष्य म्हणतात.

प्रयोग २७७--एका अपारदर्शक व मोठ्या पडद्याच्या मध्यभागीं सुमारें दोन इंच व्यासाचें एक छिद्र पाडा. या पडद्यांतील छिद्रांतून सूर्यकिरणें खोलींत येतील अशी योजना करा. सूर्यकिरणांच्या मार्गांत पाण्यानें भरलेला गोल बुडाचा चंबू धरा व पडद्यावर काय दिसतें तें पाहा. तुम्हांस पडद्यावर एक लहानसें इंद्रधनुष्य तयार झालेलें दिसेल. या इंद्रधनुष्याच्या आंतील बाजूस जांभळा व बाहेरील बाजूस लाल याप्रमाणें रंग आहेत असें दिसेल.



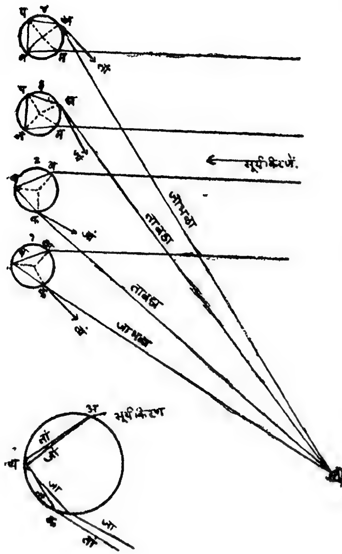
आकृति ३०६

चंबूवर 'क' येथें पडणाऱ्या किरणाचें चंबूत शिरतांच वक्रीभवन व पृथःकरण होतें. पृथःकृत किरणें 'ड' येथें पूर्ण परावर्तन पावून 'ई' येथून निघतांना पुनः वक्रीभवन पावतात. या दोन्ही वेळीं जांभळ्या रंगाचीं किरणें तांबडया रंगाच्या किरणांपेक्षां अधिक वक्र होत असल्यानें जांभळा रंग आंत व लाल रंग बाहेर याप्रमाणें रंग दिसूं लागतात.

चंद्रप्रमाणें पावसाच्या थेंबांवर जेव्हां सूर्यकिरणें पडतात तेव्हां त्यांचें वक्रीभवन व परावर्तन होऊन आपणांस इंद्रधनुष्य दिसतें. हीं इंद्रधनुष्यें बहुधा दोन असतात. त्यापैकीं एकास मुख्य (primary) व दुसऱ्यास दुय्यम (secondary) इंद्रधनुष्य म्हणतात. मुख्य इंद्रधनुष्यांत तांबडा रंग बाहेर व जांभळा आंत याप्रमाणें रंग असतात व दुय्यम धनुष्यांत रंगांचा क्रम याचे उलट असतो.

इंद्रधनुष्य परावर्तनामुळें दिसत असल्यानें तें पाहाण्याकरतां आपली पाठ सूर्याकडे असावी लागते. इंद्रधनुष्याचा मध्यबिंदू निरीक्षकाचा डोळा व सूर्य यांना सांधणाऱ्या रेषेवर असतो. सूर्य ज्यावेळीं क्षितिजावर असतो त्यावेळीं इंद्रधनुष्य सर्वांत मोठें दिसतें.यावेळीं इंद्रधनुष्याचा मध्यबिंदू सूर्यासमोर असलेल्या क्षितिजावर असतो. व मुख्य इंद्रधनुष्यांतील तांबडा रंग ज्या थेंबांमुळें दिसतो त्यांची कोनीय उंची (angular height) ४२° असते व जांभळा रंग ज्यामुळें दिसतो त्यांची उंची ४०° असते. म्हणून मुख्य धनुष्याची सर्वसाधारण उंची ४१° असते. तसेंच दुय्यम धनुष्याची सर्वसाधारण उंची ५२° असते. सूर्य जसजसा वर.जातो तसतसा इंद्रधनुष्याचा मध्यबिंदु क्षितिजाचे खालींखालीं जातो व म्हणून इंद्रधनुष्याचा दृश्यभागहि कमी कमी होतो. सूर्य ज्या वेळीं क्षितिजाचे वर ४१° असतो त्यावेळीं मुख्य इंद्रधनुष्य दिसेनासें होतें व त्याची उंची जेव्हां ५२° होते तेव्हां दुसरेंहि इंद्रधनुष्य दिसेनासें होतें.

समजा १, २, ३ आणि ४ या थेंबावर सूर्यकिरणें आकृतींत दाखविलेल्या दिशेनें पडत आहेत ‘ १ ’ या थेंबावर पडणारें किरण त्यांत शिरल्यावर ‘ अब ’ दिशेनें जातें, व ‘ ब ’ येथें पूर्ण परावर्तन पावून ‘ क ’ येथून बाहेर पडतें. हें बाहेर पडणारें किरण वर सांगितल्याप्रमाणें ‘ अ ’ येथेंच पृथःकृत झालेलें असतें. याचप्रमाणें ‘ २ ’ या थेंबांतहि कार्य होतें. ‘ २ ’ थेंबापासून निघणारें तांबडें किरण, ‘ १ ’ या थेंबापासून निघणारें जांभळें किरण व ‘१’ आणि ‘२’ या थेंबांच्यामध्यें असलेल्या थेंबांपासून



आकृति ३०७

येणारीं इतर रंगांचीं किरणें एकाच वेळीं डोळ्यांत शिरत असल्यानें आपणांस इंद्रधनुष्य दिसूं लागतें. '३' आणि '४' या थेंबांत शिरणारीं किरणें दोनदां परावृत्त होत असल्यानें रंगांचा क्रम बदलतो व आपणांस दुसरें इंद्र-धनुष्य दिसूं लागतें. '२' या थेंबांत होणारें वक्रीभवन, पृथः-करण व परावर्तन शेजारच्या आकृतींत मोठ्या प्रमाणांत दाखविलें आहे.

पदार्थांचे रंग.

जे पदार्थ स्वयंप्रकाशित नसतात ते पदार्थ त्यांच्यापासून परावृत्त होऊन येणाऱ्या प्रकाशामुळें दिसतात. अंधाऱ्या खोलींत प्रकाश परावृत्त होत नसल्यानें सर्व वस्तू काळ्या दिसतात. यावरून काळा रंग हा निळा, पिवळा इत्यादि रंगासारखा रंग नसून तो म्हणजे प्रकाशाचा अभाव आहे.

रंगीत पदार्थ अंधाऱ्या खोलींत ठेवले असतां काळे दिसतात, पण दिवसा सूर्याच्या उजेडांत ते रंगीत दिसतात, यावरून ते सूर्यप्रकाशावर कांहीं कार्य करीत असले पाहिजेत.

केवळ परावर्तनामुळें रंग उत्पन्न होत नाहींत.

प्रयोग २७८—तांबड्या किंवा हिरव्या रंगाची कांच जमिनीवर ठेवून तिचेवर आरशाच्या सहाय्यानें सूर्यबिंब पाडा. कांचेवरून परावृत्त झालेलें

बिंब पांढऱ्या पडद्यावर पडूं द्या. तें रंगीत आहे का पाहा. तें रंगीत नाहीं असें दिसेल. यावरून **केवळ परावर्तनानें रंग उत्पन्न होत नाहींत ही गोष्ट सिद्ध होते.**

प्रयोग २७९---त्याच कांचेंतून तें सूर्यबिंब पाहा. तें तांबडें किंवा हिरवें आहे असें दिसेल. ज्या पदार्थांचा पृष्ठभाग जमिनीसारखा गुळगुळीत नाहीं अशा रंगीत पदार्थांवर सूर्यबिंब पाडा. त्यावरून परावर्तन पावलेला प्रकाश स्वच्छ पांढऱ्या पडद्यावर पडूं द्या. तो रंगीत आहे किंवा नाहीं तें पाहा. तो रंगीत आहे असें दिसेल. म्हणून पदार्थ रंगीत दिसण्याकरतां त्यांचेवर पडणारा शुभ्र प्रकाश थोडा तरी आंत जावा लागतो.

शुभ्र प्रकाश अशा रीतीनें आंत शिरत असतां त्यापैकीं कांहीं रंग इतर रंगांपेक्षां अधिक प्रमाणांत शोषले जातात. व जे अधिक प्रमाणांत शोषले जात नाहींत ते रंग,पदार्थ पारदर्शक असल्यास त्यांतून जातात,किंवा आपरदर्शक असल्यास त्यापासून परावर्तन पावतात. यावरून पदार्थ रंगीत दिसण्याचें कारण शुभ्र प्रकाशापैकीं कांहीं रंग ते पदार्थ इतर रंगांपेक्षां अधिक प्रमाणांत शोषून घेतात हें आहे.

पांढरे पदार्थ रंगपट्टांतील सर्वच रंग सम प्रमाणांत परावृत्त करतात म्हणून पांढरे दिसतात. बहुतेक तांबडे व हिरवे पदार्थ शुभ्र प्रकाशापैकीं अनुक्रमें तांबडा व हिरवा प्रकाश परावृत्त करतात म्हणून ते तांबडे किंवा हिरवे दिसतात. यावरून पदार्थ ज्या रंगाचा दिसतो तो रंग खेरीज करून बाकी सर्व रंग शोषून घेतो असें मात्र समजूं नये. पदार्थाचा रंग त्यानें शोषून घेतलेले रंग सोडून देऊन जे रंग राहतील त्यांच्या सामुदायिक परिणामावर अवलंबून असतो. याकरतां **पदार्थाचा रंग ठरविण्यापूर्वीं पुढील गोष्टींचा विचार करणें अवश्य आहे.**

(१) पदार्थावर पडणाऱ्या प्रकाशांत कोणते रंग आहेत.

(२) त्यापैकीं कोणचे रंग पदार्थ शोषूं शकतो.

(३) बाकी राहिलेल्या रंगांचा डोळ्यावर सामुदायिक परिणाम काय होतो.

उदाहरणार्थ तांबडीं व पिवळीं फुलें काढलेले रंगीत कापड रंगपट्टांतील तांबड्या भागांत धरल्यास त्यावर फक्त तांबडा प्रकाश पडत असल्यानें

फक्त तांबडया रंगाचें परावर्तन होईल किंवा अजिबात परावर्तन होणार नाहीं. तांबडा भाग तांबडा प्रकाश परावृत्त करील व तांबडा दिसेल पिवळा भाग निळया रंगाचा खेरीज करून इतर सर्व रंगाचा प्रकाश परावृत्त करीत असल्यानें तोहि तांबडाच दिसेल; हेंच कापड निळया रंगाच्या प्रकाशांत धरल्यास कापडावरील कोणचाहि रंग निळा प्रकाश परावृत्त करीत नसल्यानें तें सबंध काळे दिसेल.

रंग (Pigments). पिवळा व निळा या दोन पूरक रंगाचे प्रकाश एकत्र केल्यानें शुभ्र प्रकाश तयार होतो पण पिवळा व निळा हे रंग एकत्र केले तर हिरवा रंग तयार होतो.

पिवळा रंग शुभ्र प्रकाशापैकीं निळा व जांभळा प्रकाश,व निळा रंग तांबडा व पिवळा प्रकाश, याप्रमाणें प्रकाश शोषून घेत असल्यानें हे दोन रंग (पिवळा व निळा) एकत्र केले असतां शुभ्र प्रकाशापैकीं बाकी राहिलेला म्हणजे हिरवा रंग तयार होतो.

यावरून निरनिराळया रंगाचे प्रकाश एकत्र करणें व रंग एकत्र करणें या दोन अगदीं भिन्न गोष्टी आहेत हें सहज लक्षात येईल. एकांत दोन रंगाचे प्रकाश एकमेकांत मिसळण्याची क्रिया असते तर दुसऱ्यांत शुभ्र प्रकाशापैकीं कांहीं विशिष्ट रंग काढून घेण्याची क्रिया असते.

रंग एकत्र केले असतां ते पांढऱ्या प्रकाशापैकीं कांहीं रंग शोषून घेतात. म्हणून मिश्रणाचा रंग, त्याच्या घटकांनीं शुभ्र प्रकाशापैकीं निरनिराळे रंग शोषून घेतल्यानंतर जो रंग शिल्लक राहतो तो असतो.

पारदर्शक पदार्थांचे रंग

अपारदर्शक पदार्थांप्रमाणेंच पारदर्शक पदार्थांचे रंग. ते शुभ्र प्रकाशापैकीं कोणचे रंग शोषून घेतात यावर अवलंबून असतात. निळया रंगाची कांच निळी दिसण्याची दोन संभाव्य कारणें आहेत.

(१) ती निळया रंगाखेरीज इतर सर्व रंगाचा प्रकाश शोषून घेते.

किंवा

(२) तिच्यांतून जाणाऱ्या जांभळया, निळया, अस्मानी व हिरव्या रंगाच्या प्रकाशांचा डोळ्यावर होणारा सामुदायिक परिणाम निळा होतो.

निळी व नारिंगी अशा दोन कांचा एकमेकांवर धरून त्यांतून पाहि-ल्यास शुभ्र वस्तु हिरव्या दिसतात. निळ्या कांचेंतून जांभळा, निळा, अस्मानी व हिरवा इतक्या रंगांचे प्रकाश जाऊं शकतात तर नारंगी कांचेंतून तांबडा, पिवळा, व हिरवा या रंगाचे प्रकाश जाऊं शकतात. म्हणून या दोन्हींतून जाऊं शकणारा असा फक्त हिरव्याच रंगाचा प्रकाश शिल्लक राहातो. यामुळें या कांचाच्या जोडींतून पाहिल्यास शुभ्र वस्तु हिरव्या दिसतात.

प्रश्नसंग्रह २७ वा.

(१) किरण—विकीरण म्हणजे काय ? तें कशामुळें होतें ?

सूर्यप्रकाश पार्श्वातून जात असतां त्याच्या मार्गात (१) तो पार्श्वावर पडण्यापूर्वी (२) पार्श्वातून बाहेर पडल्यावर, तांबडी कांच धरली तर रंग-पट्टांत काय फरक होईल?

(३) पांढरी भिंत तांबड्या कांचेतून पाहिली असतां तांबडी दिसते, व हिरव्या कांचेतून पाहिली असतां हिरवी दिसते पण दोन्ही कांचा एका-मागें एक याप्रमाणें धरून पाहिल्यास तीच भिंत काळी दिसते तें कां ?

(४) हिरवें शेत निळ्या कांचेंतून पाहिलें असतां कोणच्या रंगाचें दिसेल?

(५) सूर्यप्रकाश हा निरनिराळ्या सात रंगांचा बनला आहे हें सिद्ध करण्याकरता प्रयोग लिहा.

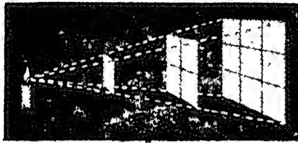
(६) पूरक रंग म्हणजे काय ?

प्रकरण २८ वें.

प्रकाशमापन (Photometry).

प्रकाशाची तीव्रता (Intensity) अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणांत असते:--

प्रयोग २८०--खरड्याचा १ चौ. इंचाचा तुकडा दिव्यापासून १ इंच अंतरावर धरा. व त्याच्या मागें दिव्यापासून २", ३", ४", अंतरावर एकच पडदा क्रमशः धरा. व त्यावर पडणाऱ्या खरड्याच्या छायेचे प्रत्येक वेळीं क्षेत्रफळ मोजा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं, पडद्यावरील छायेचें क्षेत्रफळ अनुक्रमें ४, ९ व १६ चौ. इंच असतें. यावरून असें सिद्ध होइल कीं तें दिव्यापासून १ चौ. इंच क्षेत्रफळावर जेवढा प्रकाश पडला असतां तेवढाच प्रकाश दिव्यापासून २" अंतरावर असलेल्या ४ चौ. इंचावर व ३" अंतरावर असलेल्या ९ चौ. इंचावर पडला असता अथवा २" आणि ३" अंतरावर असलेल्या १ चौ. इंच जागेवर १" अंतरावर असलेल्या १ चौ. इंच जागेवर जेवढा प्रकाश पडेल त्याच्या $\frac{1}{4}$ व $\frac{1}{9}$ इतका प्रकाश पडतो. म्हणजे कोणत्याहि ठिकाणीं प्रकाशाची तीव्रता प्रकाशाच्या उगमापासून त्या ठिकाणच्या अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणांत असते.



आकृति ३०८

दिव्यांच्या प्रकाशदायित्व-शक्तींची Luminosity तुलना करणें.

प्रयोग २८१—सुमारें ५" × $\frac{1}{2}$" असा 'अ' हा जाड खरड्याचा तुकडा लांकडी बैठकीत बसवून स्वच्छ पांढऱ्या पडद्यासमोर त्यापासून साधारण अर्ध्या इंचावर ठेवा. त्या खरड्याची सांवली पडद्यावर पडेल अशा रीतीनें सुमारें ३० सें. मी. अंतरावर एक 'म' ही मेणबत्ती ठेवा. दुसरा 'ब' हा दिवाहि याचप्रमाणें पडद्यापासून कांहीं अंतरावर ठेवा. दोन्ही दिव्यामुळें पडणाऱ्या छाया एकमेकीस लागून राहतील पण एकमेकी

वर पडणार नाहींत अशा रीतीनें मेणबत्ती व दिवा सरकवा. 'म अ' व 'ब अ' या रेषा पडद्याशीं सारख्याच कललेल्या ठेवण्याची काळजी घ्या. दिव्याचे पडद्यापासूनचें अंतर कमी जास्त करून मेणबत्ती व दिवा यामुळें उत्पन्न होणाऱ्या छाया सारख्याच काळ्या दिसतील असें करा. दोन्ही दिव्यांची पडद्यापासून अंतरें मोजा. याप्रमाणें मेणबत्ती निरनिराळ्या अंतरावर ठेवून प्रयोग करा. निरीक्षणें खालीं दाखविल्याप्रमाणें लिहा.



आकृति ३०९

निरीक्षण	मेणबत्तीचें पडद्यापासून अंतर	दिव्याचें पडद्यापासून अंतर
१ लें	३	
२ रें		
३ रें		

त्या अंतरांची तुलना करा. त्यांचें गुणोत्तर कायम आहे का पाहा. तें कायम नाहीं असें आढळून येईल. त्याच्या अंतरांच्या वर्गांची तुलना करा व यावेळीं गुणोत्तर कायम आहे का पाहा. यावेळीं तें कायम असल्याचें आढळून येईल.

समजा वरील प्रयोगांत ती अंतरें ३″ व ६″ याप्रमाणें आहेत

$$\therefore \frac{\text{मेणबत्तीची प्रकाशदायी शक्ति}}{३^२} = \frac{\text{दिव्याची प्रकाशदायी शक्ति}}{६^२}$$

$$\therefore \frac{\text{मेणबत्तीची प्रकाशदायी शक्ति}}{\text{दिव्याची प्रकाशदायी शक्ति}} = \frac{३^२}{६^२} = \frac{९}{३६}$$

म्हणजे या प्रयोगांतील दिवा ४ मेणबत्त्या इतका प्रकाश देतो.

प्रश्नसंग्रह २८ वा.

(१) दिलेल्या विजेच्या दिव्याचें प्रकाशदायित्व कसें ठरवाल.

(२) पडद्यापासून ६० सें. मी अंतरावर ठेवलेल्या विजेच्या दिव्यामुळें पडद्यासमोर ठेवलेल्या एका पदार्थावर जितकी काळी सांवली पडते तितकीच काळी सांवली साधा कंदील पडद्यापासून १० सें.मी. अंतरावर ठेवून पडते तर विजेच्या दिव्याचें प्रकाशदायित्व साध्या कंदिलाच्या किती पट आहे?

प्र. सं. १ ला. ८ –१०° सें. –५·५° सें. १०४° फा. –२२° फा.

प्र. सं. २ रा. ३ ·००००११.; ४... ४०.०४८ फू. ५ १५३·८६७ सें. मी.
६... १५ घ. सें. मी.

प्र. ३ रा. ४... ४ ग्रा. ; ५... २६·११४ ग्रा. ६... ·०१३.
८... ·३६ ९... १४५° तांब्याची. वि. उ. १.
१०... १०२०° सें.

प्र. ५ वा. ३... ७४·६ कॅ. ४... ७२·५८ कॅ.

प्र. ६ वा. ६... ३२·३७५ ग्रा. ; ७... ५३४·७५ कॅ.

प्र. ८ वा. ३... ४४८०० फू. पौं. ५... ·०६४° फा.



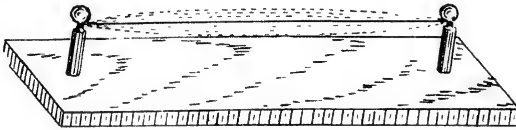
विज्ञान–भाग ५ वा.

प्रकरण २९ वें.

ध्वनि (SOUND).

ध्वनि कसा उत्पन्न होतो ?

प्रयोग २८२—सतारीच्या अथवा तंबोऱ्याच्या तारेसारखी ताणलेली तार किंचित् एका बाजूस ओढून सोडा. तारेंतून नाद निघतो का व तारेची रूपरेषा पूर्वीसारखी स्पष्ट आणि रेखीव दिसते का पाहा. तारेंतून



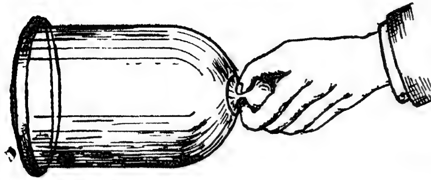
आकृति ३१०

नाद निघत असतां तिच्यावर कागदाची एक बारीक पट्टी ठेवा व ती स्थिर राहते का पाहा. तारेंतून आवाज निघणें बंद झाल्यावर तिची रूपरेषा पुनः पाहा. तसेंच तिच्यावर ठेवलेली कागदी पट्टी स्थिर आहे किंवा नाही हेंहि पाहा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं, तार एका बाजूस ओढून सोडली असतां तारेंतून नाद निघू लागतो. नाद निघत असतां तिची रूपरेषा स्पष्ट व रेखीव नसते व तिच्यावर ठेवलेली कागदाची पट्टी स्थिर असत नाहीं. पण नाद निघणें बंद झाल्यावर तिची रूपरेषा स्पष्ट व रेखीव दिसते आणि तिच्यावर ठेवलेली कागदाची पट्टीहि स्थिर असते.

यावरून तारेंतून नाद किंवा आवाज निघत असतां तार हालत असते अथवा कंपायमान स्थितींत असते असें दिसेल.

प्रयोग २८३—कांचेची एक मोठी हंडी घेऊन तिच्यावर असलेल्या गोळीच्या सहाय्यानें ती हातांत आडवी धरा. तिच्या कांठावर लहान लांकडी ठोकळ्यानें हळूच एक ठोका मारा. हंडींतून आवाज निघू लागतो का पाहा.



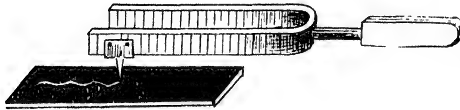
आकृति ३११

हंडींतून आवाज निघत असतां हंडींत कांचेची एक लहान गोळी हळूच ठेवा व ती स्थिर राहते का पाहा. आवाज निघणें बंद झाल्यावर गोळी स्थिर होते का हेंहि पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं, हंडींतून आवाज निघत असतां हंडींतील गोळी स्थिर नसते, पण आवाज निघणें बंद झालें म्हणजे गोळी स्थिर होते.

यावरून हंडींतून आवाज निघत असता ती कंपायमान स्थितींत असते, हें सिद्ध होतें.

प्रयोग २८४—कापूर जाळून त्यावर एक कांचेची पट्टी धरा व तिला काजळी लावा. **नादकांट्याच्या** (tuning fork) एका शाखेस आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एक हलकी व टोंकदार धातूची पट्टी पक्की



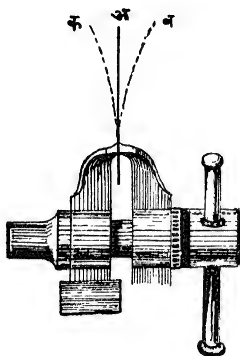
आकृति ३१२

बसवा. नादकांट्यावर लहान रबरी ठोकळ्यानें हळूच ठोका मारा. त्यांतून आवाज निघू लागतो का पाहा. त्यांतून आवाज निघू लागतो असें दिसेल. आवाज निघत असतां, धातूच्या पट्टीचें टोंक कांचेच्या काजळी लावलेल्या भागावर जेमतेम टेकेल अशा रीतीनें नादकांटा धरा व हलक्या हातानें तो एकदम ओढा. कांचेच्या पट्टीवर उमटणाऱ्या रेषेचा आकार पाहा. तो नागमोडी आहे असें दिसेल.

वरील सर्व प्रयोगांवरून **ध्वनि उत्पन्न होण्यास पदार्थ कंपायमान स्थितींत असावा लागतो** हीच गोष्ट सिद्ध होते.

कंप म्हणजे काय ?

प्रयोग २८५—सुमारें ६″ लांबीच्या घड्याळाच्या कमानीचा एक तुकडा घ्या. त्याचें एक टोंक आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें पकडींत चांगलें घट्ट दाबून धरा. तिचें मोकळें असलेलें म्हणजे वरचें टोंक, एका बाजूस 'ब' पर्यंत ओढा व नंतर सोडा. कमान कशी हालते तें पाहा.



आकृति ३१३

'ब' येथील टोंक सोडलें म्हणजे कमान तिच्यांतील स्थितिस्थापकतेमुळें परतते व 'अ' येथें आल्यावर, म्हणजे पूर्व स्थितींत आल्यावर तेथेंच न थांबतां पुढें जाते. 'अ' पासून पुढें जात असतां तिची गति कमी कमी होते व दुसऱ्या बाजूस 'अ' पासून जवळ जवळ 'अ ब' येवढ्या अंतरावर असलेल्या 'क' बिंदूपर्यंत जाते. तेथून ती पुनः परतते व 'अ' च्या पुढें 'ब' कडे जाते. तेथून पुनः 'क' कडे जाते. याप्रमाणें एका बाजूकडून दुसऱ्या बाजूकडे ती हेलकावे खाते. कमानीच्या हालचालीस हवा विरोध करीत असल्यानें 'अब' अथवा 'अक' हें अंतर हळू हळू कमी होऊं लागतें व शेवटीं 'अ' येथें कमान स्थिर होते, असें दिसेल.

याप्रमाणें जेव्हां एखादा पदार्थ हालत असतो तेव्हां तो कंप पावतो असें म्हणतात. वरील प्रयोगांतील कमानीचें टोंक जेव्हां 'ब' पासून 'क' पर्यंत जातें व तेथून परतून पुनः 'ब' पर्यंत येतें; अथवा 'अ' पासून 'ब' पर्यंत जातें व तेथून 'क' पर्यंत जाऊन 'अ' येथें पुनः परत येतें, तेव्हां त्याचा एक पूर्ण **कंप** (vibration) होतो. 'अब' अथवा 'अक' या अंतरास **हेलकावा अथवा आंदोलन** (amplitude)

म्हणतात. **एका सेकंदांत होणाऱ्या कंपांच्या संख्येस क्षिप्रता** (frequency) म्हणतात. एक कंप पूर्ण होण्यास जो वेळ लागतो त्यास **कंपकाल** (period of vibration) म्हणतात.

प्रयोग २८६—पेन्सिलीभोंवतीं पोलादी बारीक तार गुंडाळून एक लांब गुंडाळी (helix) तयार करा. तिचें वरचें टोंक पकडींत घट्ट धरून खालचे टोंकास एक जड गोळी बांधा. गोळी 'ब' पर्यंत खालीं ओढून सोडा व तिची हालचाल कशी होते तें पाहा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं, 'ब' पासून गोळी सोडल्यावर ती 'अ' चेहि वर जाते व तेथून पुनः 'ब' कडे परतते. याप्रमाणें हेलकावे खात खात ती कांहीं वेळानें स्थिर होते.



गोळी 'ब' पासून निघून पुनः 'ब' पर्यंत आली म्हणजे, अथवा 'अ' पासून पहिल्यानें 'ब' पर्यंत व नंतर 'क' पर्यंत जाऊन 'अ' येथें परत आली म्हणजे, तिचा एक पूर्ण **कंप** होतो. पूर्वीप्रमाणेंच 'अब' अथवा 'अक' या अंतरास **हेलकावा** अथवा **आंदोलन** (amplitude) म्हणतात.

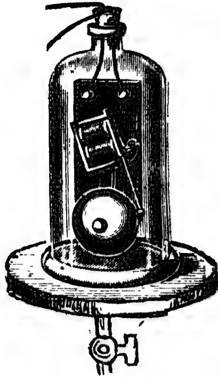
प्रयोग २८५ मधील कमानीचें टोंक तिच्या लांबीशी काटकोन करून हालत होतें म्हणून तिच्या टोंकाच्या कंपास **आडवा कंप** (transverse vibration) म्हणतात; पण या प्रयोगांतील गोळी गुंडाळीच्या लांबीच्या दिशेनेंच हालते म्हणून गोळीच्या कंपास

आ.३१४ '**उभा कंप**' (longitudinal vibration) म्हणतात. ध्वनीमुळें हवेंत उत्पन्न होणारे कंप यासारखेच असतात.

ध्वनीच्या स्थलांतरास माध्यमाची आवश्यकता असते.

प्रयोग २८७—वाताकर्षक पंपाच्या तबकडीवर बरोबर बसेल अशी रबरी बूच असलेली हंडी घ्या. या हंडीच्या बुचांत एकमेकींस स्पर्श करणार नाहींत अशा रीतीनें दोन तांब्याच्या तारा बसवा. या तारा विद्युद्घंटेस जोडून घंटा हंडींत लोंबत राहील अशी योजना करा. हंडी

वातार्कषक पंपाच्या तबकडीवर घट्ट बसवा. व बुचांत बसविलेल्या

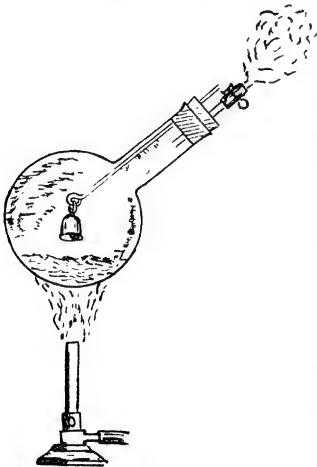


आकृति ३१५

तारांचीं हंडीबाहेरील टोकें विद्युद्घटास जोडा. विद्युद्घटास तारा जोडतांच विद्युद्घंटा वाजूं लागेल. घंटा वाजत असतां तिचा आवाज हंडींतून ऐकूं येतो का पाहा. हंडींतील हवा वातार्कषक पंपानें हळूहळू काढा व घंटेच्या आवाजांत कांहीं फरक होतो का पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं, जेव्हां हंडींत हवा असते तेव्हां घंटेचा आवाज स्पष्ट ऐकूं येतो, पण हंडींतील हवा जसजशी कमी होते तसतसा आवाजहि क्षीण होत जातो व ज्यावेळीं हंडींतील सर्व हवा नाहींशी होते त्यावेळीं घंटेचा आवाज मुळींच ऐकूं येत नाहीं.

प्रयोग २८८—रुंद तोंडाच्या चंबूस घट्ट बसेल असें दोन छिद्रें



आकृति ३१६

असलेलें बूच घ्या. एका छिद्रांतून एक लांब काचेचा दांडा घाला व त्यास चंबूच्या तोंडांतून सहज आंत जाईल अशी लहान घंटा बांधा. दुसरे छिद्रांत एक कांचेची नळी बसवा. चंबूस बूच लावा. नळीच्या चंबूच्या बाहेर असलेल्या टोंकास रबरी नळीचा तुकडा बसवून त्यावर एक चाप लावा. चंबू हालवून घंटा वाजवा व आवाज ऐकूं येतो का पाहा. बूच काढून चंबूंत थोडें पाणी घाला. नळीवरील चाप ढैल करून चंबूंतील पाणी उकळूं लागेतों तापवा. नळींतून वाफ बाहेर येऊं लागल्यावर कांहीं वेळानें चाप बंद करा

व चंबू निवूं द्या. चंबू निवाल्यावर पूर्वीप्रमाणेंच चंबू हालवून घंटा वाजवा व आतां आवाज ऐकूं येतो का पाहा.

तुम्हास असें आढळेल कीं ज्यावेळीं चंबूंत हवा असते त्यावेळीं चंबूत वाजविलेल्या घंटेचा आवाज ऐकूं येतो, पण जेव्हां चंबू निवतो आणि त्यांतील वाफेचें पाण्यांत रूपांतर होऊन तो निर्वात होतो तेव्हां आवाज ऐकूं येत नाहीं.

वरील दोन्ही प्रयोगांवरून असें सिद्ध होतें कीं, निर्वात भागांत ध्वनि उत्पन्न केल्यास तो ऐकूं येत नाहीं, म्हणजे **ध्वनीच्या स्थलांतरास माध्यमाची आवश्यकता असते.**

लहरी व त्यांचे प्रकार:—तळ्यांतील पाण्यात दगड टाकला म्हणजे जेथें दगड पडतो तेथून पाण्यात लाटा उत्पन्न होतात व तळ्याच्या कांठाकडे जातात. या लाटा वर्तुलाकार असून दगड ज्या ठिकाणीं पाण्यांत पडतो त्या बिंदूभोंवतीं पसरत असतात. या लाटा उत्पन्न होत असतां पाण्यावर तरगत असलेल्या पदार्थाचें निरीक्षण केल्यास तो पदार्थ जागच्या जागींच वरखालीं होत असतो असें दिसेल. म्हणजे पाण्याचे कण, लाटा ज्या दिशेनें जात असतात त्या दिशेशीं काटकोन करून हालत असतात असें दिसेल.

प्रयोग २८९—एक लांब दोरी घेऊन जमिनीवर सरळ ठेवा. तिच्यावर फूट फूट अंतरावर रंगीत खुणा करा. दोरीचें टोंक एका बाजूकडून दुसऱ्या बाजूकडे लवकर लवकर हालवा व दोरीवरील खुणांच्या हालचालीचें नीट निरीक्षण करा. निरीक्षणान्तीं पुढील गोष्टी तुमच्या नजरेस येतील.

(१) दोरीच्या एका टोंकास मिळालेली गति दोरींतून दुसऱ्या टोंकाकडे जाते.

(२) दोरीकडे केव्हांहि पाहिले तरी तिच्यांत लहरी उत्पन्न होत असून त्या एका टोंकाकडून दुसऱ्या टोंकांकडे जातात.

(३) दोरीवरील खुणा दोरींतून लहरी ज्या दिशेनें जात असतात त्या दिशेशीं म्हणजे दोरीच्या लांबीशीं काटकोन करणाऱ्या दिशेनें इकडून तिकडे हालत असतात पण पुढें सरकत नाहींत.

प्रकाश लहरीहि याच प्रकारच्या असतात.

या लहरी ज्या माध्यमांत उत्पन्न होतात त्यांतील कणांची हालचाल लहरी ज्या दिशांनीं जातात त्या दिशांशीं काटकोन करणाऱ्या दिशांनीं असते म्हणून यांना **आडव्या लहरी** (transverse waves) म्हणतात.

मंद वारा वाहात असतां गव्हाच्या शेताकडे पाहिलें तर शेतांत लहरी उत्पन्न होत आहेत असें दिसतें. गव्हांचीं रोपें झोक्यासारखीं म्हणजे फक्त एकाच दिशेनें हालूं शकतात. यामुळें वाऱ्याची झुळूक आली असतां गव्हाच्या पहिल्या ओंबीस धक्का मिळतो व ती पुढें ढकलली जाते. ही दुसऱ्या ओंबीजवळ येऊन तिला धक्का देते. याप्रमाणें वाऱ्याच्या प्रत्येक झुळकेबरोबर पहिली ओंबी दुसऱ्या ओंबीजवळ, दुसरी तिसरीजवळ, अशा रीतीनें एका पुढच्या एक ओंब्या, एकमेकींजवळ येत येत, झुळकेमुळें पहिल्या ओंबीस मिळालेला धक्का शेताच्या दुसऱ्या टोंकापर्यंत नेतात.

(१) यावेळीं गव्हाच्या प्रत्येक ओंबीची हालचाल लाट ज्या दिशेनें जात असते त्याच दिशेने होते, आणि

(२) शेतावरून याप्रमाणें लहरी जात असता गव्हाचें प्रत्येक रोप जागच्या जागींच असतें.

पावसाळयाच्या दिवसांत जीं गांडुळें (earth worms) दिसतात त्यांच्या हालचालींचें नीट निरीक्षण केलें तर असें आढळेल कीं, तीं ज्या दिशेनें पुढें सरकतात त्याच दिशेनें त्यांच्या अगांतील कण ओढले जाऊन ते सर्व जवळ येतात. पुढें सरकते वेळीं तोंडाचा भाग पुढें ओढला जाऊन त्या भागांतील कण किंचित् विरल होतात व हा विरलपणा क्रमाक्रमानें शेपटापर्यंत ढकलला जातो.

याप्रमाणें तीं पुढें जात असतां त्यांच्या अंगांतील कांहीं भाग क्रमाक्रमानें दाट होतो व कांहीं क्रमाक्रमानें विरल होतो व त्यामुळें त्याच्या अंगांत लहरी उत्पन्न होतात.

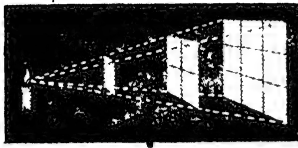
या लहरी ज्या माध्यमांत उत्पन्न होतात त्या माध्यमांतील कणांची हालचाल लहरी ज्या दिशेनें पुढें जातात त्याच दिशेनें होत असल्यानें यांना **उभ्या लहरी** (longitudinal waves) म्हणतात.

प्रकरण २८ वें.

प्रकाशमापन (Photometry).

प्रकाशाची तीव्रता (Intensity) अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणांत असते:—

प्रयोग २८०—खरड्याचा १ चौ. इंचाचा तुकडा दिव्यापासून १ इंच अंतरावर धरा. व त्याच्या मागें दिव्यापासून २", ३", ४", अंतरावर एकच पडदा क्रमशः धरा. व त्यावर पडणाऱ्या खरड्याच्या छायेचे प्रत्येक वेळीं क्षेत्रफळ मोजा. तुम्हांस असें आढळून येईल कीं, पडद्यावरील छायेचें क्षेत्रफळ अनुक्रमें ४, ९ व १६ चौ. इंच असतें. यावरून असें सिद्ध होइल कीं तें दिव्यापासून १ चौ. इंच क्षेत्रफळावर जेवढा प्रकाश पडला असतां तेवढाच प्रकाश दिव्यापासून २"अंतरावर असलेल्या४ चौ.इंचावर व ३"अंतरावर असलेल्या ९ चौ. इंचावर पडला असता अथवा २" आणि ३" अंतरावर असलेल्या १चौ. इंच जागेवर १" अंतरावर असलेल्या १ चौ. इंच जागेवर जेवढा प्रकाश पडेल त्याच्या $\frac{1}{4}$ व $\frac{1}{9}$ इतका प्रकाश पडतो. म्हणजे कोणत्याहि ठिकाणीं प्रकाशाची तीव्रता प्रकाशाच्या उगमापासून त्या ठिकाणच्या अंतराच्या वर्गाच्या व्यस्त प्रमाणांत असते.



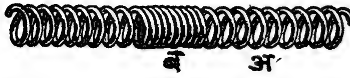
आकृति ३०८

दिव्यांच्या प्रकाशदायित्व-शक्तींची Luminosity तुलना करणें.

प्रयोग २८१—सुमारें ५" × $\frac{1}{2}$" असा 'अ' हा जाड खरड्याचा तुकडा लांकडी बैठकीत बसवून स्वच्छ पांढऱ्या पडद्यासमोर त्यापासून साधारण अर्ध्या इंचावर ठेवा. त्या खरड्याची सांवली पडद्यावर पडेल अशा रीतीनें सुमारें ३० सें. मी. अंतरावर एक 'म' ही मेणबत्ती ठेवा. दुसरा 'ब' हा दिवाहि याचप्रमाणें पडद्यापासून कांहीं अंतरावर ठेवा. दोन्ही दिव्यामुळें पडणाऱ्या छाया एकमेकींस लागून राहतील पण एकमेकीं

होते. ही लहर गुंडाळींतून ज्या दिशेनें जाते त्याच दिशेनें गुंडाळींतील वेटोळीं सरकतात, म्हणजे पुढें पुढें सरकतात.

गुंडाळीच्या टोंकापासून कांहीं वेटोळीं सोडून जवळ जवळच्या दोन वेटोळ्यांत चाकूचें पातें धरून तें टोंकाकडे खरडत न्या म्हणजे चाकूच्या पात्यापुढें असलेलें प्रत्येक वेटोळें एकदां त्याच्या पुढच्या वेटोळयाजवळ जाईल व पात्यातून सुटलें म्हणजे एकदा त्यापासून दूर जाईल. यामुळें गुंडाळींत एकदमच **दाब स्पंद** (Pulse of compression) 'ब' आणि **प्रसर स्पंद** (Pul e of rarefaction) 'अ' उत्पन्न होतील अथवा एक पूर्ण लहर उत्पन्न होईल.

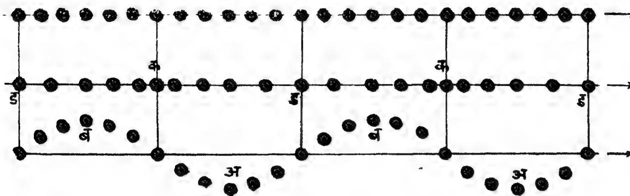


आकृति ३१८

आडव्या आणि उभ्या लहरींची तुलना.

खालील आकृतींत सर्वांत वरील रेषेवर एकाच रेषेंत असणाऱ्या कणांची स्थिर स्थिति दर्शविली आहे. मधल्या रेषेवर त्या कणांतून उभ्या लहरी जात असता ते ज्या स्थितींत असतील ती स्थिति दर्शविलेली असून खालच्या रेषेवर त्यांतून आडव्या लहरी जात असतांनाची त्यांची स्थिति दर्शविली आहे.

आडव्या लहरींतील कण जेव्हां वर जात असतात तेव्हां त्यांच स्थितींत असलेले उभ्या लहरींतील कण उजवीकडे पुढें सरकतात व आडव्या



आकृति ३१९

लहरींतील कण जेव्हां खालीं येत असतात तेव्हां त्याच स्थितींत असलेले उभ्या लहरींतील कण डावीकडे म्हणजे मागें सरकतात. म्हणून मधल्या रेषेवरील कोणत्याही कणाची स्थिति खालच्या रेषेवरील तत्सम कण आडव्या

रेषेपासून जितका वर किंवा खालीं सरकला असेल तितका उजवीकडे किंवा डावीकडे तो कण सरकवून मिळते.

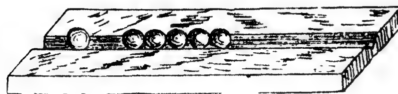
आडव्या रेषेस आडवी लहर ज्या बिंदूंत छेदते ते बिंदू हालताना दिसत नाहींत. हे बिंदू उभ्या लहरींतील एकातर दाबकेंद्र किंवा प्रसरकेंद्र या प्रमाणें असतात.

आडव्या लहरींतील 'अ अ' किंवा 'ब ब' हें अंतर, पूर्ण लहरीची लांबी दर्शवितें आणि उभ्या लहरींतील 'क क' किंवा 'ड ड' हें अंतर पूर्ण लहरीची लांबी दर्शवितें.

आपणांस ऐकूं कसें येतें ?

पाण्यांत दगड टाकला असतां ज्याप्रमाणें लहरी (लाटा) उत्पन्न होतात त्याप्रमाणें एखादा ध्वनि–स्फोटामुळें, आपटण्यामुळें अथवा तार छेडण्यामुळें कोणच्याहि तऱ्हेनें–उत्पन्न झाला म्हणजे हवेंत लहरी उत्पन्न होतात. पाण्यांतील लहरी वर्तुलाकार पसरत असून त्या फक्त पृष्ठ भागावरच असतात. ध्वनीमुळें उत्पन्न होणाऱ्या लहरी गोल (spherical) असून सर्व हवेंत पसरतात. तसेंच पाण्यांत दगड टाकल्यामुळें उत्पन्न होणाऱ्या लहरी आडव्या (transverse) असतात तर ध्वनीमुळें उत्पन्न होणाऱ्या लहरी उभ्या (longitudinal) असतात. या ध्वनिलहरी आपल्या कानांतील पडद्यावर आपटल्या म्हणजे कानांतील पडदा कंप पावतो व आपणांस ऐकूं येते. ध्वनिमुळें हवेंत लहरी कशा उत्पन्न होतात हें पुढील विवेचनावरून सहज लक्षात येईल.

प्रयोग २९१—एका लांकडी पट्टीस कांचेची गोटी राहील येवढया



आकृति ३२०

रुंदीची खांच करा. खांचेंत एकास लागून एक अशा ६।७ गोट्या ठेवा. एका टोंकाकडील गोटी थोडी मागें ओढून जोरानें पुढें ढकला व काय होतें तें पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं ही गोटी इतर गोटयांवर आपटतांच दुसऱ्या टोंकाकडील गोटीच तेवढी पुढें ढकलली जाते, पण मधल्या गोटया जवळ जवळ जागच्या जागींच राहतात.

पहिली गोटी दुसऱ्या गोटीवर आपटतांच ती किंचित दाबली जाते. कांचेची गोटी स्थितिस्थापक असल्यानें ती पूर्ववत् होऊं लागते व त्यामुळें तिच्या पुढील गोटीस दाबते. ही गोटी याच प्रमाणें तिच्या पुढील गोटीस दाबते. या प्रमाणें एका गोटीवर पडलेला दाब एका टोंकापासून दुसऱ्या टोंकापर्यंत जातो. दुसऱ्या टोंकाकडील गोटी पुढें आणखी गोटी नसल्यानें ती स्वतःच पुढें ढकलली जाते.

आगगाडी (मालगाडी) स्टेशनावर उभी असतां तिला जेव्हां एंजिन लागतें तेव्हा एंजिनमुळें पहिल्या डब्यास मिळालेला धक्का गाडीचे टोंकापर्यंत जातो हें सर्वांनी पाहिलेंच असेल. एंजिन जेव्हा पहिल्या डब्यास लागतें तेव्हा त्याचा बफर (buffer) थोडा दाबला जातो. ही स्थिति स्थापक असल्यानें तो पूर्ववत् होण्याचा प्रयत्न करतो व असें करतांना त्याच्या पुढच्या डब्यास ढकलतो. यामुळें त्याचा (पुढच्या डब्याचा) बफर दाबला जातो व तो पूर्ववत् होताना त्याच्या पुढील डब्यास ढकलतो. याप्रमाणें पहिल्या डब्यास मिळालेला धक्का गाडीच्या शेवटापर्यंत जातो, व शेवटला डबा जर साखळीनें मागील डब्यास जोडलेला नसेल तर तो रूळावरून पुढें जाऊं लागतो.

या वरून पदार्थ स्थिति स्थापक असल्यास त्याचे एका टोंकास मिळालेली गति त्यांतील कणांची सापेक्ष स्थिति न बदलता एका टोंका पासून दुसऱ्या टोंका पर्यंत जाते.

स्थितिस्थापकता (Elasticity)

प्रयोग २९२—एका लांकडी पट्टीस तांबडा रंग लावा. रंग ओला असतां त्या पट्टीवर एक रबरी चेंडू हळूच ठेवा. त्याच्या किती भागास रंग लागतो तें पाहा. तोच चेंडू नंतर उंच उचलून पट्टीवर टाका व या वेळीं त्याच्या किती भागास रंग लागतो तें पाहा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं आपण जेव्हां पट्टीवर चेंडू हळूच ठेवतों तेव्हां

त्याच्या फारच थोड्या भागास रंग लागतो पण जेव्हां तो उंच उचलून खालीं टाकतों तेव्हां त्याच्या बऱ्याचशा भागास रंग लागतो.

चेंडू वरून खाली टाकला म्हणजे त्याचा कांहीं भाग दाबला जातो व त्यास रंग लागतो पण पट्टो पासून तो वर उसळतांच त्याचा आकार पूर्ववत् होतो.

चेंडू सारख्या ज्या पदार्थांचा आकार (shape) अथवा आकारमान (size) बदलविण्यास जोराची (force) आवश्यकता असते व जे पदार्थ जोर नाहींसा होतांच पूर्वींच्याच आकाराचे किंवा आकारमानाचे होतात त्या पदार्थास **स्थितिस्थापक** (Elastic) पदार्थ म्हणतात, व त्यांच्या अंगीं असलेल्या या गुणधर्मास **स्थितिस्थापकता** (Elasticity) म्हणतात.

पदार्थांच्या आकारांत अथवा आकारमानात ठराविक बदल करण्यास जितका अधिक जोर लागतो तितका तो पदार्थ अधिक स्थितिस्थापक आहे असें म्हणतात.

ध्वनि लहरी हवेंत कशा उत्पन्न होतात ?

प्रयोग २८५ मधील पोलादी कमान जेव्हां 'अ' कडून 'ब' कडे जाते म्हणजे डावी कडून उजवीकडे जाते तेव्हां तिच्या पुढें असलेले हवेचे कण दाबले जातात. पण हवेचे कण स्थितिस्थापक असल्यानें ते दाबले जाण्यास विरोध करतात व प्रसरण पावण्याचा प्रयत्न करतात. असें करीत असतां त्यांचे पुढें असलेले हवेचे कण दाबले जातात. हे कण त्यांचे पुढील कणांवर वरील प्रकारचेंच कार्य करतात. या प्रमाणें पट्टीचें टोंक डावीकडून उजवीकडे येत असतां दाबस्पंद (pulse of compression) उत्पन्न होतो व तो समगतीनें पुढें पुढें जातो.



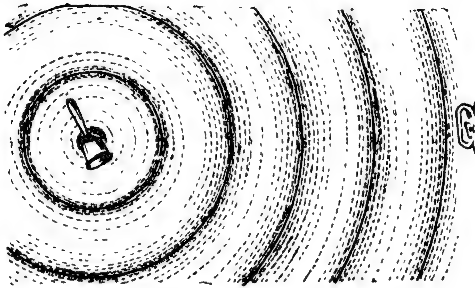
पोलादी कमान जेव्हां 'ब' कडून 'अ' कडे परतते, म्हणजे उजवी कडून डावीकडे येऊं लागते, तेव्हां तिच्या उजवीकडील, तिला लागून असलेल्या हवेवरील दाब कमी होतो व

आ. ३२१

त्यामुळें ती प्रसरण पावून विरल होते. यामुळें प्रसरस्पंद (pulse

of rarefaction) उत्पन्न होतो व दाब स्पंद ज्या गतीनें हवेंतून पुढें जातो त्याच गतीनें हा स्पंदही हवेंतून पुढे जातो.

कमान जेव्हां पुनः डावीकडून उजवीकडे जाते तेव्हां पुनः एक दाब स्पंद उत्पन्न होतो व ती परतूं लागताच दाब स्पंदाच्या मागोमाग एक प्रसरस्पंदहि उत्पन्न होतो. या प्रमाणें कमानीच्या कंपामुळें एक दाब स्पंद व एक प्रसरस्पंद असे एका मागून एक स्पंद उत्पन्न होतात म्हणजे लहरी



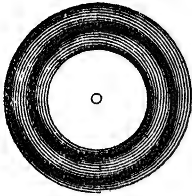
आकृति ३२२

उत्पन्न होतात (ध्वनिलहर = दाबस्पंद + प्रसरस्पंद) व आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें हवेंतून पुढें पुढें जातात.

याचप्रमाणें नादकांट्याच्या (tuning fork) शाखेच्या प्रत्येक कंपामुळें लहरी उत्पन्न होतात. नादकांट्याचे जर एका सेकंदात २५६ कंप होत असतील तर दर सेकंदांत २५६ दाब स्पंद व २५६ प्रसरस्पंद उत्पन्न होतात. नादकांटयाच्या प्रत्येक कंपामुळें हे दोन स्पंद उत्पन्न होत असल्यानें ध्वनि लहरींची लांबी या दोन स्पंदांच्या लांबी इतकी असते. अथवा एकामागून एक उत्पन्न होणाऱ्या दाबस्पंदामधील अथवा प्रसरस्पंदामधील अंतरा येवढी असते.

दाब लहरी आणि प्रसर लहरी हवेंतून कशा जातात ?

आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एक चक्र घेऊन त्याच्या मध्यावर एक छिद्र पाडा. हें चक्र नंतर सूत कातण्याच्या चातीवर बसवून घडयाळाच्या

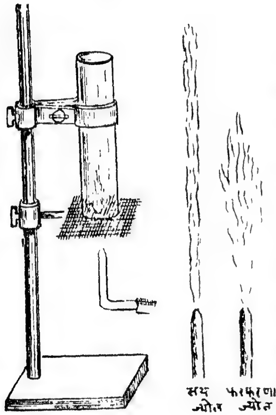


काट्यांच्या उलट दिशेनें फिरवा. तें फिरत असतां त्यावर, चक्राच्या त्रिज्येयेवढ्या लांबीची व पांच मिलिमीटर रुंदीची फट धरा. चक्राकडे या फटींतून पाहा म्हणजे दाब लहरी आणि प्रसर लहरी हवेंतून कशा जातात याची नीट कल्पना येईल.

आकृति ३२३

ध्वनिद्योतक ज्योत. (Sensitive flame)

काचेची नळी तापवून ओढा आणि बारीक करा. बारीक झालेल्या ठिकाणी कापा म्हणजे बारीक तोंड असलेली नळी मिळेल. या नळीला एकाजागीं काटकोन करून वाकवा. नळीचें रुंद तोंड गॅसच्या (जाळण्याचा वायु) तोटीशी जोडा. नळीचें बारीक तोंडावर व तोंडापासून सुमारें २″ अंतरावर ताब्याच्या जाळीचा एक तुकडा ठेवा. गॅस सोडून तो जाळीच्या वर पेटवा. ज्योतीस वारा लागूं नये म्हणून ज्योती भोंवती रुंद तोंडाच्या नळीचा सहा इंच लांबीचा तुकडा ठेवा. गॅसवरील दाब किंचितहि वाढला तरी ज्योत फरफरूं लागेल इतकाच दाब गॅसवर ठेवण्याची योजना करा, म्हणजे ध्वनिद्योतक ज्योत मिळेल.



आकृति ३२४

कसलाहि आवाज झाला तरी त्यामुळें हवेंत कंप उत्पन्न होतात. हा आवाज या ज्योतीजवळ झाल्यास हवेंतील कंपामुळें (जळणाऱ्या वायूवरील) गॅसवरील दाबांत फरक होतो व त्यामुळें ज्योत फरफरूं लागते. म्हणून अशा प्रकारच्या ज्योतीस **ध्वनिद्योतक ज्योत** म्हणतात.

ध्वनि वाहक माध्यम स्थितिस्थापक असावें लागतें.

प्रयोग २९३—ध्वनिद्योतक ज्योतीसमोर ओलें फडकें; लांकडी भुसा अथवा गवत, कापूस, पिसें इत्यादि पदार्थांनीं भरलेले डबे, निरनिराळ्या

धातूचे बारीक पत्रे, बारीक लांकडी फळी इत्यादि पदार्थ क्रमाक्रमानें टांगून ठेवा. या पदार्थांच्या ज्या बाजूस ज्योत असेल तिच्या विरूद्ध बाजूस टाळ्या वाजवा अथवा शीळ फुंका. ज्योतीवर कांहीं परिणाम होतो कां पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं ज्योतीसमोर जेव्हां ओलें फडकें; कापूस, गवत, लांकडी भुसा इत्यादि पदार्थांनी भरलेले डबे; अथवा यांच्यासारखे अस्थितिस्थापक (non-elastic) पदार्थ टांगून ठेवलेले असतात तेव्हां ज्योतीवर काहींच परिणाम होत नाही, पण धातूचे बारीक पत्रे अथवा बारीक लाकडी फळी या सारखे स्थितिस्थापक पदार्थ ठेवलेले असतात तेव्हां ज्योत फरफरूं लागते.

या वरून ज्या माध्यमांतून ध्वनि जावयाचा असेल तें माध्यम स्थिति-स्थापक नसेल तर त्यांतून ध्वनीचें स्थलांतर होत नाहीं हे सहज लक्षांत येईल.

बोलपटांचें ध्वनिलेखन ज्या ठिकाणीं करतात त्या जागीं इतर कोणताहि आवाज तेथील ध्वनिवर्धकावर पडूं नये म्हणून त्या खोलीच्या भिंती व दरवाजे अस्थितिस्थापक पदार्थांचे केलेले असतात.

प्रश्न संग्रह २९ वा.

१. ध्वनि उत्पन्न करणारा पदार्थ कंपायमान स्थितींत असतो हे सिद्ध करण्याकरतां प्रयोग लिहा.
२. निर्वात जागीं उत्पन्न केलेला ध्वनि ऐकूं येत नाहीं हें कसें सिद्ध कराल ?
३. ध्वनीचें स्थलांतर माध्यमावांचून होऊं शकत नाहीं हें सिद्ध करण्याकरता प्रयोग लिहा.
४. स्थिति स्थापकता म्हणजे काय ?
५. ज्या माध्यमांतून ध्वनि जावयाचा असेल तें माध्यम स्थितिस्थापक असावें लागतें तें कां ?
६. लहरी किती प्रकारच्या असतात ? आडव्या लहरी आणि उभ्या लहरी म्हणजे काय ?
७. प्रकाश लहरी आणि ध्वनि लहरी यांच्यांत काय फरक आहे ?
८. ध्वनि द्योतक ज्योत म्हणजे काय ? ती कशी तयार करतात ?
९. ध्वनि लहरी हवेंत कशा उत्पन्न होतात ?

प्रकरण ३० वें.

ध्वनीची गति (VELOCITY OF SOUND)

(१) ध्वनीची हवेंतील गति.

आपणापासून कांहीं अंतरावर असलेल्या नदीवर अथवा तळयावर कपडे धूत असलेल्या परिटाकडे पाहिले, तर आपणास असें आढळून येईल कीं, कपडा दगडावर आपटलेला पहिल्यानें दिसतो व त्याच्या आपटण्याचा आवाज मागाहून काहीं वेळानें ऐकूं येतो. तसेंच पावसाळयांत जेव्हां वीज चमकते तेव्हाच गडगडाटहि होतो, पण वीज चमकलेली पहिल्यानें दिसते व मागाहून कांहीं वेळानें गडगडणें ऐकूं येतें. यावरून ध्वनीची गति प्रकाशाच्या गतीपेक्षां पुष्कळच कमी असते, म्हणजे एखादे अंतर आक्रमिण्यास प्रकाशास जितका वेळ लागतो, त्यापेक्षां ध्वनीस तेवढेंच अंतर आक्रमिण्यास अधिक वेळ लागतो, ही गोष्ट सहज लक्षांत येते. याच गोष्टीचा ध्वनीची गति ठरविण्याचे कामीं उपयोग केलेला आहे.

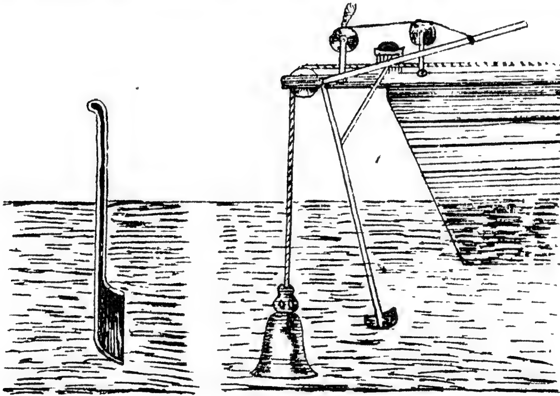
अठराव्या शतकाच्या आरंभीं फ्रेंच शास्त्रज्ञांनीं ध्वनीची गति पहिल्यानें ठरविली. त्यांनीं सुमारें १० मैल अंतरावर असलेल्या ‘ अ ’ आणि ‘ ब ’ या ठिकाणीं दोन तोफा ठेवून प्रत्येक जागीं एक एक निरीक्षकहि ठेविला. ‘ अ ’ येथें उडविलेल्या तोफेची चमक ‘ ब ’ येथें दिसल्यावर तिचा आवाज त्यानंतर किती वेळानें ऐकूं येतो याची ‘ब’ येथील निरक्षकानें नोंद केली. तसेंच ‘ ब ’ येथें उडविलेल्या तोफेची चमक ‘अ’ येथें दिसल्यावर तिचा आवाज किती वेळानें ऐकूं येतो याची नोंद ‘अ’ येथील निरीक्षकानें केली. या दोन्हीं वेळांची सरासरी काढून, ध्वनीला (वारा वाहात नसतां) ‘ अ ’ ते ‘ ब ’ अंतर जाण्यास किती वेळ लागतो हें ठरविलें व ‘ अ ’ आणि ‘ ब ’ मधील अंतरास वेळानें भागून ध्वनीची गति ठरविली. हाच प्रयोग अनेक वेळां केल्यावर त्यांना असें आढळून आलें कीं जेव्हां वारा वाहात नसतो व हवेचें उष्णमान 0° सेंटिग्रेड असतें तेव्हां ध्वनीची गति दर सेकंदास १०९६ फूट अथवा ३३१ मीटर असते.

हवेचें उष्णमान जसजसें वाढतें तसतशी ध्वनीची गतीहि वाढते. ही वाढ साधारणत: दर सेंटिग्रेड अंशास २ फूट अथवा ६२ सेंटिमीटर इतकी असते.

ध्वनीच्या गतीवर उष्णमानाचा जरी परिणाम होत असला तरी वातावरणाच्या दाबाचा कांहींच परिणाम होत नाहीं. समुद्रसपाटीवर आणि उंच पर्वतावर ध्वनि सारख्याच गतीनें जातो.

(२) ध्वनीची पाण्यांतील गति.

ध्वनीची पाण्यांतील गति पहिल्यानें **कोलॅडॉन** (Colladon) आणि **स्टर्म** (Sturm) या दोन शास्त्रज्ञांनीं ठरविली. जिनेव्हा येथील सरोवरांत १६४८७ मीटर अंतरावर दोन बोटी उभ्या करून, त्यापैकीं एकीस एक मोठी घंटा बांधून ती पाण्यात लोंबत ठेवली होती. या घंटेवर आपटगारा



आकृति ३२५

टोकळा घंटेवर आपटतांच बोटीच्या वरच्या भागावर ठेवलेली दारू आपोआप पेटावी अशी योजना केलेली होती. एका मोठ्या कर्ण्याच्या रुंद तोंडावर एक पडदा ताणून बसवून तो दुसऱ्या बोटीपासून पाण्यांत लोंबविला होता. पहिल्या बोटीवरील दारूची चमक दिसतांच कर्ण्याच्या

निमुळऱ्या टोंकास कान लावून घंटेचा आवाज किती वेळानें ऐकू येतो हें पाहून ध्वनीची पाण्यांतील गति ठरविली. अनेक वेळां प्रयोग केल्यावर त्यांना असें आढळून आलें कीं, ध्वनीची पाण्यांतील गति दर सेकंदास १४३५ मीटर असते. म्हणजे ध्वनीची पाण्यांतील गति त्याच्या हवेंतील गतीच्या ४। पट असते; अथवा एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणीं हवेंतून जाण्यास ध्वनीला जितका वेळ लागतो त्याच्यां $\frac{१}{४}$ वेळ त्याला तेवढेंच अंतर पाण्यांतून जाण्यास लागतो.

(३) ध्वनीची घन पदार्थांतील गति.

गजाच्या एका टोंकास ठोका मारून उत्पन्न केलेला आवाज गजाच्या दुसऱ्या टोंकास कान लावून असलेल्या माणसांकडे दोन मार्गांनीं जातो. (१) प्रत्यक्ष गजांतून आणि (२) हवेंतून. या दोन निरनिराळ्या मार्गांनीं येणाऱ्या आवाजाच्या वेळांत किती फरक पडतो हें पाहून ध्वनीची घनपदार्थांतील गति ठरवितात.

ध्वनीची घनपदार्थांतील गति ठरविण्याकरतां फ्रेंच शास्त्रज्ञांनीं पुढील प्रमाणें प्रयोग केला.

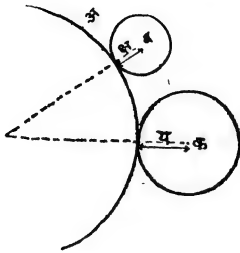
एकमेकास जोडून तयार केलेल्या ९५१ मीटर लांबीच्या लोखंडी नळाच्या एका टोंकास, हवेचें उष्णमान ११° सें. असतांना, हातोड्यानें ठोका मारला. हा आवाज नळाच्या दुसऱ्या टोंकाशीं कान लावून प्रत्यक्ष नळातून ऐकल्यावर किती वेळानें हवेंतून येऊन ऐकू येतो हें पाहिलें. तेव्हा या दोन मार्गांनी जाणाऱ्या आवाजाच्या दुसऱ्या टोंकाशीं पोचण्याच्या वेळांत २·५ सेकंदांचे अंतर पडलें. हवेंतून ९५१ मीटर अंतर जाण्यास ध्वनीला २·८ सेकंद लागतात म्हणून तेवढेंच अंतर लोखंडांतून जाण्यास ध्वनीला (२·८ − २·५ = ०·३) तीन दशांश सेकंद वेळ लागतो, म्हणून ध्वनीची लोखंडांतील गति दर सेकंदास ३१७० मीटर असली पाहिजे.

यावरून ध्वनि हवेंतून ज्या गतीनें जातो त्याच्या नऊपट गतीनें तो लोखंडांतून जातो, म्हणजे ध्वनि एका सेकंदांत हवेंतून जितकें अंतर जातो, त्याच्या नऊपट अंतर तो लोखंडांतून गेल्यास तेवढ्याच

वेळांत आक्रमितो. यामुळेच दूरवर असलेल्या आगगाडीचा आवाज प्रत्यक्ष ऐकू येण्यापूर्वी रुळास कान लावला म्हणजे आधीं ऐकू येतो.

(४) ध्वनीच्या गतीचें व्यावहारिक उपयोग.

(१) लढाईच्या दिवसांत शत्रूच्या तोफांचें स्थान निश्चित करण्याकरतां ध्वनीच्या गतीचा उपयोग करतात. एकमेकांपासून कांहीं मैल अंतरावर असलेल्या 'अ', 'ब' आणि 'क' या तीन निरनिराळ्या ठिकाणीं तोफेचा आवाज केव्हां केव्हां ऐकूं येतो हें पाहून त्यावरून तोफेची जागा निश्चित करतात. समजा तोफेचा आवाज 'अ' येथें ऐकू आल्यावर 'क्ष' सेकंदांनी 'ब' येथें व 'य' सेकंदांनीं 'क' येथें ऐकूं येतो. ध्वनीची गति दर सेकंदास 'ग' फूट आहे अशी कल्पना केल्यास, तोफेमुळें उत्पन्न होणाऱ्या ध्वनि लहरी



आकृति ३२६

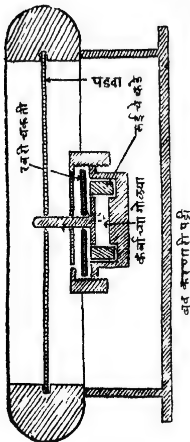
ज्या वेळीं 'अ' येथें पोंचतात, म्हणजे तोफेचा आवाज 'अ' येथें जेव्हां ऐकू येतो, त्यावेळीं त्या (ध्वनि लहरी) 'ब' पासून 'क्ष × ग' फूट व 'क' पासून य × ग फूट अंतरावर असल्या पाहिजेत. म्हणजे त्यावेळीं त्या 'ब' भोंवतीं 'क्ष.ग' फूट त्रिज्येनें व 'क' भोंवतीं 'य × ग' फूट त्रिज्येनें काढलेल्या वर्तुळांवर कोठेंतरी असल्या पाहिजेत. तोफ सुटल्यामुळें उत्पन्न होणाऱ्या ध्वनि लहरी तोफेभोंवतीं वर्तुलाकार पसरत जातात, म्हणून तोफेचा आवाज 'अ' येथें जेव्हा ऐकू येतो त्यावेळीं ध्वनि लहर 'अ' मधून जाणाऱ्या व 'ब' आणि 'क' भोंवतीं 'क्ष. ग' आणि 'य. ग' त्रिज्यांनीं काढलेल्या वर्तुळास स्पर्श करणाऱ्या वर्तुळानें दर्शविली जाते व म्हणून या वर्तुळाचा मध्य ज्या ठिकाणीं असतो, त्या ठिकाणीं तोफ असते.

यापेक्षांहि अधिक अचूक माहिती मिळविण्याकरता तीनपेक्षां अधिक ठिकाणीं आवाज ऐकूं येण्याच्या वेळां नोंदून वरीलप्रमाणेंच जागा ठरवितात.

(२) जहाजाचीं नक्की जागा ठरविण्याकरतांहि याच पद्धतीचा उपयोग

करतात. किनाऱ्यावरील ज्या ठिकाणीं बिनतारी तारायंत्र असून,जेथें निश्चित जागीं ध्वनिवर्धक (microphones) पाण्यात सोडून ध्वनि ऐकण्याच्या वेळांची नोंद करण्याची यात्रिक योजना असते, अशा ठिकाणीं जहाजावरील माणसें " आम्ही कोठें आहोंत तें कळवा " असा संदेश बिनतारीनें पाठवितात व कांहीं वेळानें समुद्रात जहाजांजवळ स्फोटक द्रव्याच्या सहाय्याने आवाज करतात. हा आवाज ऐकू येण्याच्या वेळां किनाऱ्यारील यंत्रांनीं नमूद केल्यावर त्यांच्या सहाय्यानें तेथील लोक जहाज कोठें आहे व किनाऱ्यापासून किती अंतरावर आहे हें जहाजावरील लोकांस कळवितात.

(३) शत्रूच्या पाणबुड्याची जागा ठरविण्याकरतांहि ध्वनीच्या गतीचा उपयोग करतात. याकरता पाण्यांत उत्पन्न होणाऱ्या ध्वनिलहरींचे अस्तित्व ज्याच्या साहाय्यानें कळतें अशा **जलध्वनिग्राहक** (hydrophone) नांवाच्या यंत्राचा उपयोग करतात. या यंत्रात एका धातूच्या जड कडीवर अजंग पोलादाचा (stainless steel) पातळ पत्रा ताणून बसविलेला असतो. या पडद्याच्या मध्यभागीं ध्वनिप्रेषकाच्या (telephone) ध्वनिक्षेपकामध्यें (transmitter) असणाऱ्या कर्बकणांच्या ध्वनिवर्धकासारखा (microphone) ध्वनिवर्धक बसविलेला असतो. यास जोडलेल्या तारा जहाजावरील ध्वनिग्राहकांस जोडलेल्या असतात. ध्वनिलहरीच्या आघातामुळें पडद्यांत होणाऱ्या हालचाली ध्वनिवर्धकातून ध्वनिग्राहकांकडे जातात. पडद्यावर फक्त एकाच बाजूस ध्वनि लहरींचे आघात व्हावेत म्हणून त्याच्या मागच्या बाजूस धातूची जाड डबी बसविलेली असते. हें यंत्र समुद्रांत सोडून हळूहळू फिरविलें म्हणजे याच्या समोरून येणारा आवाज नीट ऐकूं येतो व त्यामुळें पाणबुड्यांच्या जागा व दिशा ठरवितां येतात.



आकृति ३२७

प्रश्नसंग्रह ३० वा.

१. ध्वनीची हवेंतील गति कशी ठरवितात ?

२. हवेच्या उष्णमानाचा ध्वनीच्या गतीवर काय परिणाम होतो ? एकदां एका ठिकाणीं उत्पन्न केलेला ध्वनि दुसऱ्या ठिकाणीं ऐकूं जाण्यास १० सेकंद लागतात व एकदां ९.६ सेकंद लागतात याचें कारण काय ?

३. थंडीच्या दिवसांत एका तोफेचा आवाज काहीं अंतरावर माणसास ५ सेकंदांनीं ऐकूं येतो. त्याच तोफेचा आवाज तेवढ्याच अंतरावर असलेल्या माणसास ऐकूं जाण्यास उन्हाळयांतहि तेवढाच वेळ लागेल का ? तुमच्या उत्तराच्या समर्थनार्थ कारणें द्या.

४. ध्वनीची घनपदार्थांतील गती कशी ठरवितात ?

५. दूरवर असलेल्या घोडदळांतील घोड्यांच्या टापांचा आवाज जमीनीस कान लावून ऐकला असतां लवकर ऐकूं येतो याचें कारण काय ?

६. ध्वनीच्या गतीचा व्यवहारांत कसा उपयोग करतात ?

---

*

प्रकरण ३१ वें.

ध्वनीचा मोठेपणा (Loudness) ध्वनिपरावर्तन (Reflection of sound) व सूर (Musical sound)

(१) ध्वनीचा मोठेपणा ध्वनिवाहक माध्यमाच्या घनतेवर अवलंबून असतो.

प्रयोग २९४—एका रुंद तोंडाच्या चंबूस घट्ट बसेल असें एक छिद्र असलेलें रबरी बूच घ्या. त्या छिद्रांत एक कांचेचा दांडा बसवा. चंबूच्या तोंडातून सहज आत जाईल अशी लहान घंटा दांड्याचें टोंकास बांधा व चंबूस बूच लावा. चंबू हालवून घंटा वाजवा व आवाज ऐकूं येतो कां पाहा. या चबूत हवेच्या ऐवजीं क्रमाक्रमानें हायड्रोजन व कर्बाम्ल वायु (carbonic acid gas) भरा व बूच लावून घंटा वाजवा. घंटेच्या आवाजात कांहीं फरक आढळून येतो का पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं, हायड्रोजन चंबूंत असतांना घंटेचा आवाज जेवढ्यानें ऐकूं येतो, त्यापेक्षां अधिक मोठ्यानें चंबूंत हवा असतांना ऐकूं येतो व चंबूंत कर्बाम्ल वायु असतांना तो त्याहिपेक्षां मोठ्यानें ऐकूं येतो.

यावरून असें दिसेल कीं, ज्या माध्यमांतून ध्वनीचें स्थलांतर होतें त्या माध्यमाची घनता जसजशी वाढते तसतसा आवाजहि मोठा होतो.

प्रयोग २९५—एक लहान घड्याळ आपणांपासून सुमारें ५।६ फुटांवर टांगा. घड्याळाचें टकटकणें ऐकूं येतें कां पाहा. पांच सहा फूट लांबीचा वेळूचा तुकडा घ्या. त्याचें एक टोंक घडयाळास लावून दुसरें आपल्या कानाशीं धरा. घडयाळाचें टकटकणें पूर्वीइतक्याच मोठ्यानें ऐकूं येतें कां पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं, ज्या घडयाळाचें टकटकणें ५।६ फूटांवरून जेमतेम ऐकूं येत होतें त्याच घडयाचें टकटकणें, घडयाळ आणि कान यांच्यामध्यें वेळू धरला असतां चांगलें मोठ्यानें ऐकूं येतें.

ध्वनिवाहक माध्यमाची घनता वाढली असतां ध्वनि मोठयानें ऐकूं येतो ही गोष्ट या प्रयोगावरूनहि सिद्ध होतें.

जी तोफ एखाद्या दरींत उडविली असतां आपल्या कानठाळ्या बसतात, तीच तोफ उंच पर्वतावर उडविली तर तिचा आवाज केवळ एकाद्या बंदुकीसारखा ऐकूं येतो याचे कारण दरींतील हवा उंच पर्वतावरील हवेपेक्षां घन असते हेंच आहे.

(२) ध्वनीचा मोठेपणा कंपायमान पदार्थाच्या पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळावर अवलंबून असतो.

प्रयोग २९६—एक नादकांटा रबरी ठोकळयानें ठोकून वाजवा व त्याचा आवाज ऐका. तो नादकांटा एका अधात्री टांगलेल्या बारीक फळीवर टेकवा व आवाजांत कांहीं फरक होतो का पाहा. फळीवर अगदीं बारीक वाळू पसरा व नादकांटा वाजत असतां वाळूचे कणांत कांहीं हालचाल होतांना दिसतें का पाहा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं, जोंपर्यंत नादकांटा वाजत होता तोंपर्यंत फळीवरील वाळूचे कण हालत होतें, पण नादकांट्याचें वाजणें बंद होतांच वाळूचे कणहि हालेनासे होतात आणि एकटा नादकांटाच जेव्हां वाजत होता. तेव्हां जितक्या मोठयानें आवाज ऐकूं येत होता, त्यापेक्षां अधिक मोठयाने त्याचा आवाज तो लांकडी फळीवर टेकतांच ऐकूं येतो.

यावरून नादकांटा फळीवर टेकतांच फळीहि नादकांटयाप्रमाणें कंप पावूं लागते, म्हणजे कंप पावणाऱ्या पदार्थाचा पृष्ठभाग वाढतो व त्यामुळें आवाज मोठयानें ऐकूं येतो हें सिद्ध होतें.

कंप पावणाऱ्या पदार्थाचा पृष्ठभाग जेव्हां अगदीं लहान असतो तेव्हां हवेच्या फारच थोडया कणांना त्यामुळें गति मिळते आणि क्षीण ध्वनिलहरी उत्पन्न होतात. या केव्हां केव्हां इतक्या क्षीण असतात कीं, त्याचा आपल्या कानावर कांहींच परिणाम होत नाहीं; पण कंप पावणाऱ्या पदार्थाचा पृष्ठभाग जेव्हां मोठा असतो तेव्हां बऱ्याच मोठया थराला त्यामुळें गति मिळते आणि प्रबल ध्वनि लहरी उत्पन्न होतात. या लहरींचा आपल्या कानांवर परिणाम होऊन आपणांस मोठा आवाज

ऐकूं येतो. म्हणून ध्वनीचा मोठेपणा कंपायमान पदार्थांच्या पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळावर अवलंबून असतो.

सतार, दिलरुबा, इत्यादि वाद्यांच्या तारा बारीक लांकडी फळीवर ताणलेल्या असतात याचेंहि कारण वर सांगितल्याप्रमाणेंच आहे.

(३) ध्वनीचा मोठेपणा ध्वनि केंद्राच्या अंतरावर अवलंबून असतो.

प्रयोग २९७—बंदूक सोडणाऱ्या माणसाच्या अगदीं जवळ उभे राहून बंदुकीचा आवाज ऐका. नंतर त्यापासून निरनिराळ्या अंतरावर उभे राहून त्याच बंदुकीचा आवाज ऐका व आवाजांत काय फरक होतो तो पाहा.

तुम्हास असें आढळेल कीं, बंदूक सोडणाऱ्या माणसाजवळ उभे असतां ज्या बंदुकीच्या आवाजानें आपल्या कानठाळ्या बसतात, त्याच बंदुकीचा आवाज कांहीं अंतरावरून ऐकल्यास केवळ फटाक्यासारखा ऐकूं येतो, व यापेक्षांहि अधिक अंतरावर तो याहूनहि हळू ऐकूं येतो.

यावरून असें दिसेल कीं, ध्वनिकेंद्रापासून आपलें अंतर जसजसें वाढतें, तसतसा ध्वनीहि (आवाज) क्षीण होतो म्हणजे त्याचा मोठे-पणा कमी होतो.

ध्वनिलहरी गोल (speherical) असून ध्वनिकेंद्राभोंवतीं सारख्या पसरत असतात. त्या ध्वनीच्या उगमापासून जसजशा लांब जातात तसतसें त्यांच्या पृष्ठभागाचें क्षेत्रफळहि वाढतें. यामुळें प्रत्येक ध्वनि-लहरींत साधारणतः सारखीच असणारी शक्ति (energy) त्यांचें (ध्वनि-लहरींचें) उगमापासूनचें अंतर जसजसें वाढतें तसतशी अधिकाधिक पृष्ठभागावर विभागली जाते व म्हणून ठराविक क्षेत्रफळाच्या जागेंतून जाणाऱ्या शक्तीचें प्रमाण कमी होतें. असें होत असल्यानें ध्वनीच्या उगमापासूनचें अंतर जसजसें वाढतें तसतसा ध्वनि अधिकाधिक क्षीण होतो. ध्वनिकेंद्रापासून जसजसें अंतर वाढतें तसतसा ध्वनि अधिकाधिक क्षीण का होतो हें वरील विवेचनावरून सहज लक्षांत येईल.

(४) आवाजाचा मोठेपणा नाददायी पदार्थांच्या हेलकाव्यांच्या किंवा आंदोलनांच्या (amplitude) मोठेपणावर अवलंबून असतो.

प्रयोग २९८—सतारीची तार छेडा अथवा नादकांटा वाजवा. सुरवातीस त्याचा आवाज जेवढ्या मोठ्यानें ऐकूं येतो तेवढ्याच मोठ्यानें तो कांहीं वेळानें ऐकूं येतो का पाहा. सतारीची तार अथवा नादकांट्याच्या शाखा पूर्वींइतक्या जोरानें हालतात का हेंहि पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं सतारीचा अथवा नादकांट्याचा आवाज सुरवातीस जेवढ्या मोठ्यानें ऐकूं येतो तेवढ्याच मोठ्यानें तो कांहीं वेळानें ऐकूं येत नाहीं. तो हळूहळू कमी होतो व सतारीची तार अथवा नादकांट्याच्या शाखा पूर्वी जितक्या जोरानें हालत होत्या तितक्या जोरानें त्या हालत नसून त्याचें हलणें हळूहळू कमी होतें.

लांब दोरीच्या एका टोंकास जाड गोळा बांधून तयार केलेला आंदोलक एका बाजूस ओढून सोडला तर तो सारखा हालत राहतो व त्याच्या आंदोलनास लागणारा वेळ (time of oscillation) जरी कायम असला तरी त्याचें हेलकावणें (amplitude), त्याच्या गतीस हवा विरोध करीत असल्यानें हळूहळू कमी होतें.

याचप्रमाणें सतारीची तार छेडली असतां अथवा नादकांटा वाजविला असतां सतारीची तार अथवा नादकांट्याच्या शाखा सारख्या हालत असतात. त्यांच्या कंपास लागणारा वेळ जरी सारखा असला तरी त्यांच्या हलण्यास हवा विरोध करीत असल्यानें, त्यांचे हेलकावणें हळूहळू कमी होतें व त्यामुळें त्याचा आवाजहि कमी होतो.

यावरून नाददायी पदार्थाचें हेलकावे जितके मोठे असतात तितका आवाजहि मोठा असतो अथवा आवाजाचा मोठेपणा नाददायी पदार्थाच्या हेलकाव्याच्या मोठेपणावर अवलंबून असतो हें सिद्ध होतें.

वरील विवेचनावरून दिसून येईल कीं आवाजाचा मोठेपणा--

(१) ध्वनिवाहक माध्यमाची घनता.

(२) कंपायमान पदार्थाच्या पृष्ठभागाचे क्षेत्रफळ.

(३) नाददायी पदार्थाचें अंतर.

(४) नाददायी पदार्थाच्या हेलकाव्यांचा मोठेपणा.

या चार गोष्टींवर मुख्यतः अवलंबून असतो.

ध्वनिपरावर्तन.

प्रयोग २९९—प्रयोग २९० मध्यें सांगितल्याप्रमाणें एक गुंडाळी तयार करून तिचें एक टोंक, एक फूट बाजू असलेल्या चौरस लांकडी पट्टीच्या मध्यभागीं पक्कें बसवा. तिचें मोकळें टोंक आंत दाबून दाबलहर उत्पन्न करा व ही लहर फळीवर आपटतांच गुंडाळींत उलट दिशेनें जाणारी लहर उत्पन्न होते का पाहा व होत असल्यास ती कोणच्या प्रकारची असते तें पाहा. याचप्रमाणें गुंडाळीचें टोंक ओढून तिच्यांत प्रसरलहर उत्पन्न करा व ही पट्टीवर आपटतांच गुंडाळींत उलट दिशेनें जाणारी लहर उत्पन्न होतें का व होत असल्यास ती कोणच्या प्रकारची असते याचे नीट निरीक्षण करा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं ज्या प्रकारची लहर गुंडाळींतून जाऊन पट्टीवर आपटते त्याचप्रकारची पण उलट दिशेनें जाणारी लहर, ही लहर पट्टीवर आपटतांच पट्टीपासून उत्पन्न होते.

पाण्यात उत्पन्न होणाऱ्या लाटा किनाऱ्यावर आपटल्यावर अथवा प्रकाश लहरी एखाद्या पदार्थावर पडल्यावर ज्याप्रमाणें परतूं लागतात त्याचप्रमाणें वरील प्रयोगांतील गुडाळींतून जाणाऱ्या लहरीही पट्टीवर आपटल्यावर परत फिरतात किंवा परावृत्त होतात. ध्वनिलहरी गुंडाळींतून जाणाऱ्या लहरींसारख्याच असतात म्हणून त्याहि एखाद्या पदार्थावर पडल्यावर परावृत्त व्हावयास पाहिजेत. त्या तशा परावृत्त होतात का हें आपण पाहूं.

प्रयोग ३००—लहान घड्याळाचें टकटकणें जेमतेम ऐकूं येईल इतक्या अंतरावर उभे राहा. घड्याळापुढें एक पुस्तक ठेवा व घड्याळाचें टकटकणें ऐकूं येतें का पाहा. तेंच पुस्तक नंतर घड्याळाचें मागें ठेवा व घड्याळाचें टकटकणें आतां ऐकूं येतें का पाहा.

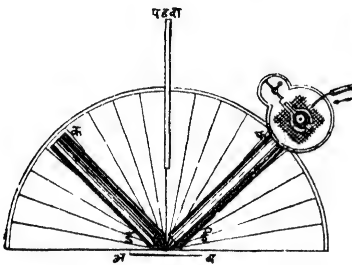
तुम्हांस असें आढळेल कीं ज्या वेळीं पुस्तक घड्याळाचें पुढें ठेवलेलें असतें तेव्हां घड्याळाचें टकटकणें ऐकूं येत नाहीं; पण जेव्हां पुस्तक घड्याळाचे मागें असतें तेव्हां मात्र घड्याळाचें टकटकणें नेहमींपेक्षां थोड्या अधिक अंतरावरूनहि नीट ऐकूं येतें.

घड्याळाच्या टकटकण्यामुळें उत्पन होणाऱ्या ध्वनिलहरी पुस्तक जेव्हां घड्याळाच्या पुढें असतें तेव्हां त्यांवर अडतात व घड्याळाकडे परत जातात म्हणून आपणास टकटकणें ऐकूं येत नाहीं; पण जेव्हां पुस्तक घड्याळाचें मागें असतें तेव्हां पुस्तकाकडे जाणाऱ्या ध्वनि लहरीहि आपल्याकडे परत येत असल्यानें, घड्याळाची टकटक आपणास स्पष्टपणें ऐकूं येते.

यावरून ध्वनिलहरीहि एखाद्या पदार्थावर पडल्यावर परावृत्त होतात किंवा परावर्तन पावतात ही गोष्ट सहज लक्षांत येईल.

ध्वनिलहरी प्रकाशलहरींप्रमाणेंच परावृत्त होतात तेव्हां ध्वनिपरावर्तनहि प्रकाश परावर्तनाच्या नियमानुसार होतें का हें पाहणेंहि अवश्य आहे.

प्रयोग ३०१—दोन्ही तोंडें उघडीं असलेल्या व बिजागरानें एकमेकींस जोडलेल्या ‘कड’ आणि ‘ईफ’ या नळया क्षितिज समांतर पातळींत एकमेकींशीं कांहीं अंशाचा कोन करून राहातील अशा रीतीनें पकडींत धरा.(या नळया प्रत्येकीं ४ फूट लांब व ३″व्यासाच्या असाव्या) ‘ईफ’ नळीच्या ‘फ’ तोंडाशीं एक ध्वनिदर्शक ज्योत ठेवा. ‘क’ येथें



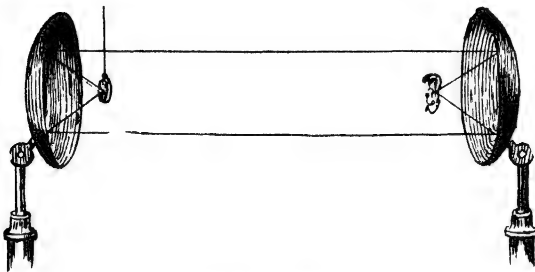
आकृति ३२८

उत्पन्न केलेला ध्वनि ‘ई’कडे सरळ जाऊं नये म्हणून त्याच्यामध्यें ध्वनि शोषक पदार्थाचा पडदा ठेवा. ‘कड’ नळीच्या ‘क’ या तोंडांत शीळ फुंका व ‘फ’ येथील ज्योतीवर कांहीं परिणाम होतो का पाहा. नंतर ‘ड’ आणि ‘ई’ या तोंडासमोर ‘अब’ हा फळा ठेवून पुनः ‘क’ येथें शीळ फुंका व आतां ‘फ’ येथील ज्योतीवर कांहीं परिणाम होतो कां पाहा. ‘कड’ आणि ईफ यांच्याशी सारख्याच अंशांचा कोन करून राहील अशा रीतीनें फळा फिरवा व पुन्हां शीळ फुंकून ज्योतीवर परिणाम होतो कां पाहा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं ज्या वेळीं 'अब' हा फळा ठेवलेलाच नसतो त्यावेळी ज्योतीवर कांहींच परिणाम होत नाहीं; पण 'अब' हा फळा ठेवला म्हणजे ज्योतीवर परिणाम होऊं लागतो आणि ज्यावेळीं तो दोन्ही नळयांशीं सारख्याच अंशाचा कोन करीत असतो त्यावेळीं ज्योतीवर महत्तम परिणाम होतो.

यावरून ज्या नियमानुसार प्रकाश किरणें परावर्तन पावतात त्याच नियमानुसार ध्वनि किरणेंहि परावर्तन पावतात हें सहज समजेल.

प्रयोग ३०२—एका अंतर्गोल (concave) किंवा परवलयाकार



आकृति ३२९

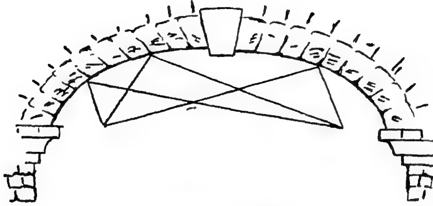
(parabolic) आरशाच्या केंद्रावर एक लहान घडयाळ लोंबत ठेवा. घडयाळाचें टकटकणें प्रत्यक्ष ऐकूं येणार नाहीं इतक्या अंतरावर त्याच आकाराचा दुसरा एक आरसा पहिल्या आरशाकडे तोंड करून ठेवा. दोन्ही आरशांचे मुख्य आंस एकाच रेषेवर असूं द्या. दुसऱ्या आरशाच्या केंद्राशीं कान न्या व घडयाळाचे टकटकणें ऐकूं येतें का पाहा. कान केंद्रापासून थोडा दूर न्या व घडयाळाचें टकटकणें त्याजागीं ऐकू येते कां पाहा.

ज्या घडयाळाचें टकटकणें दुसरा आरसा नसतांना ऐकू येत नव्हतें त्याच घडयाळाचें टकटकणें दुसरा आरसा ठेवल्यावर फक्त त्या आरशाच्या केंद्राशींच ऐकूं येतें इतरत्र कोठेंहि ऐकूं येत नाहीं असें तुम्हांस दिसेल.

एका आरशाच्या केंद्रावर ठेवलेल्या घडयाळाच्या टकटकण्यामुळें उत्पन्न होणारा ध्वनि आरशावर पडतांच परावर्तन पावतो. हा परावृत्त ध्वनि दुसऱ्या आरशावर पडला म्हणजे त्यावर परावर्तन पावून त्याच्या

केंद्राच्या ठिकाणीं केंद्रित होतो म्हणून घड्याळाचें टकटकणें फक्त त्याच ठिकाणीं आपणास ऐकूं येतें.

लंबवर्तुलाकार (elliptical) कमानीच्या एका केंद्राशीं उत्पन्न केलेला ध्वनि परावर्तन पावून कमानीच्या दुसऱ्या केंद्राशीं केंद्रित होतो म्हणून तो फक्त त्याच ठिकाणीं ऐकूं येतो, इतर कोठेंहि ऐकूं येत नाहीं.



आकृति ३३०

पुलांच्या कमानी बहुधा लंबवर्तुलाकार असतात, म्हणून कमानीखालीं, एका खांबा जवळ कमानीकडे तोंड करून बोललेले शब्द पुलाच्या दुसऱ्या खांबा जवळ स्पष्ट ऐकूं येतात पण इतर ठिकाणीं ते ऐकूं येत नाहींत.

तसेंच लंब वर्तुलाकार छत असलेल्या खोलींत छताच्या केंद्राशीं छताकडे तोंड करून कुजबुजलें तरी तें कुजबुजणें छताच्या दुसऱ्या केंद्राशीं स्पष्ट ऐकूं येतें. अशा प्रकारचें कमानदार छत असलेली चौरस खोली पॅरिसमध्यें (Conservatoire des Arts et Me'tie'rs) येथें आहे. वर्ध्याच्या सरकारी शाळेच्या देवडीलाहि (porch) अशा प्रकारचें कमानदार छत असल्यानें तिच्या एका खांबा जवळ उभे राहून खांबाकडे तोंड करून कुजबुजलें तर तें कुजबुजणें त्याच्या समोर असलेल्या दुसऱ्या खांबाशीं स्पष्ट ऐकूं येतें.

कुजबुजहि ऐकूं येते असे सज्जे (Whispering galleries)

अखंड वक्राकार आणि गुळगुळीत भिंती असलेल्या जागीं असल्या प्रकारचे सज्जे असतात. अशा सज्जांत एके ठिकाणीं उभे राहून भिंतीकडे तोंड करून बोललें म्हणजे दूरच्या दुसऱ्या ठिकाणीं उभ्या असलेल्या माणसास तें बोलणें ऐकूं जातें. अशा ठिकाणीं ध्वनि एका बिंदूपासून दुसऱ्या बिंदूकडे, दुसऱ्यापासून तिसऱ्याकडे, याप्रमाणें परावर्तित

होत होत ऐकणारा ज्या ठिकाणीं असेल त्या ठिकाणीं जातो. लंडन येथील सेंट पॉल्स कॅथेड्रलच्या घुमटामध्यें असल्या प्रकारचा सज्जा आहे. हा घुमट गोल (spherical) आहे. या घुमटांतील सज्जांत एके ठिकाणीं उभे राहून भिंतीकडे तोंड करून नुसतें कुजबुजलें तरी विरूद्ध टोंकाशीं असलेल्या माणसास तें ऐकूं जातें, पण मध्यें कोठेंहि असलेल्या माणसास ते ऐकूं जात नाही. विजापूरच्या गोल घुमटांतहि हीच गोष्ट अनुभवास येते.

प्रतिध्वनि (Echo)— एखाद्या उघड्या मैदानावर आपण ओरडलों अथवा शीळ वाजविली तर ओरडणे अथवा शीळ वाजविणें संपल्यावर आपणास कांहींच ऐकूं येत नाही; पण एखाद्या उंच कड्या समोर अथवा भिंती समोर उभें राहून जर आपण ओरडलों अथवा शीळ वाजविली तर थोड्याच वेळानंतर पुन: तसेंच ओरडणें अथवा तशीच शीळ आपणांस ऐकूं येते. या मागाहून ऐकूं येणाऱ्या आवाजालाच प्रतिध्वनी म्हणतात.

प्रतिध्वनि कसा उत्पन्न होतो ?—आपल्या ओरडण्यामुळें अथवा शीळ वाजविण्यामुळें ज्या ध्वनिलहरी उत्पन्न होतात त्या कड्यावर अथवा भिंतीवर आपटून परावर्तन पावतात व आपणाकडे येतात म्हणून आपणास तोच आवाज पुनः थोड्या वेळानें ऐकूं येतो, पण उघड्या मैदानांत ओरडण्यामुळें उत्पन्न होणाऱ्या लहरींना कोणच्याहि प्रकारचा अडथळा नसल्याने त्या आपल्याकडे परतून येऊं शकत नाहींत, म्हणून आपणास तो आवाज पुन: ऐकूं येत नाहीं.

कोणत्याहि ध्वनीचा आपल्या कानावर होणारा परिणाम साधारणतः $\frac{१}{१०}$ सेकंद टिकतो, म्हणून मूळ ध्वनि संपल्यावर $\frac{१}{१०}$ सेकंदानें जर प्रतिध्वनि ऐकूं आला तर तो आपणांस स्पष्ट ऐकूं येतो.

या वरून असें दिसेल कीं प्रतिध्वनि स्पष्ट ऐकूं येण्याकरता ध्वनि $\frac{१}{१०}$ सेकंदांत जेवढें अंतर आक्रमण करतो तेवढें अंतर मूळ ध्वनि आणि प्रतिध्वनि या दोहोंनीं मिळून आक्रमिलें पाहिजे. ध्वनि एका सेकंदांत जवळ जवळ ११०० फूट अंतर आक्रमितो, म्हणून $\frac{१}{१०}$ सेकंदात तो ११० फूट जातो, यामुळें प्रतिध्वनि स्पष्ट ऐकूं येण्याकरतां ज्या कड्यावर अथवा

भिंतीवर आपटून ध्वनि परावृत्त होतो त्याचें आपणापासूनचें अंतर कमींत कमी ५५ फूट तरी असलें पाहिजे.

गाण्याचे जलसे अथवा व्याख्यानें ज्या मोठमोठ्या दिवाणखान्यांतून करतात त्यांत भिंती व छत यांच्यामुळें कित्येकदां ध्वनिपरावर्तन होतें व त्यामुळें वक्ता जे शब्द उच्चारीत असतो त्या शब्दांचा आवाज आणि त्यानें पूर्वी उच्चारिलेल्या शब्दांचा प्रतिध्वनि हे एकमेकांत मिसळतात आणि व्याख्यान स्पष्ट ऐकू येत नाहीं. अशा दिवाणखान्यांत श्रोतृसमुदाय जेव्हां मोठा असतो तेव्हां ही अडचण भासत नाहीं, कारण तेथें जमलेल्या लोकांच्या कपड्यामुळें बराचसा प्रतिध्वनि शोषला जातो. असल्या दिवाणखान्यांतून वरीलप्रमाणें प्रतिध्वनीचा उपद्रव होऊं नये म्हणून भिंतीवरून पडदेहि सोडलेले असतात.

यावरून गाण्याकरतां अथवा व्याख्यानाकरतां जेथें मुळींच प्रतिध्वनि उत्पन्न होत नाहीं अशा जागा चागल्या असतात असा समज होण्याचा संभव आहे; पण हा समज चुकीचा आहे. कारण जेथें प्रतिध्वनी मुळींच उत्पन्न होत नाहीं अशा उघड्या मैदानावर केलेलें भाषण अथवा गाइलेलें गाणें श्रोतृसमुदाय जेव्हां मोठा असतो तेव्हां नीट ऐकूं येत नाहीं. उलट बंद जागीं केलेलें भाषण, मूळच्या आवाजांत प्रतिध्वनीची भर पडत असल्यानें सर्वांस स्पष्ट ऐकू येते. ज्या दिवाणखान्यांत मूळ शब्द संपल्यानंतर त्याचा प्रतिध्वनि दोन सेकंदपर्यंत मागाहून ऐकू येतो ते दिवाणखाने सार्वजनिक व्याख्यानाकरतां उत्तम असतात असें प्रयोगान्तीं आढळून आले आहे.

अनेक प्रतिध्वनि (Multiple echoes)

ज्याप्रमाणें समोरासमोर अथवा एकमेकांशीं कोन करून असलेल्या आरशांच्यामध्यें ठेवलेल्या पदार्थाच्या—प्रकाशाचें अनेक वेळां परावर्तन होत असल्यानें—अनेक प्रतिमा दिसतात, त्याचप्रमाणें एकमेकांपासून कांहीं अंतरावर असलेल्या मोठ्या घरांच्या अगर भिंतींच्या मध्यें उभे राहून मोठ्यानें बोललें असतां, आपलें बोलणे—ध्वनीचें अनेक वेळां परावर्तन होत असल्यानें—अनेक वेळां ऐकू येतें, यालाच **अनेक प्रतिध्वनि** म्हणतात.

विजेमुळें उत्पन्न होणारा ध्वनि, ढग आणि त्याचे खालीं असलेली जमीन याच्यामध्यें अनेक वेळां परावर्तन पावतो म्हणून वीज चमकल्या-नंतर बराच वेळ गडगडणें ऐकू येतें.

व्हर्डून जवळ सुमारें १६० फूट अंतरावर दोन मनोरे आहेत. या मनोऱ्याच्या मध्यें असलेल्या कोणत्याहि जागीं केलेला आवाज जवळ जवळ बारा वेळा ऐकू येतो.

ध्वनि परावर्तनाचे व्यावहारिक उपयाग.

बोलण्याच्या नळयांचें अथवा ध्वनिवाहक नळयांचें (speaking tubes) **तत्त्व.**

प्रयोग ३०३—एखाद्या घड्याळाचें टकटकणें जास्तींत जास्त किती फूट अंतरावरून ऐकूं येतें तें पाहा. या अंतरापेक्षां अधिक लांबीचा २ इंच व्यासाचा नळ घ्या. नळाच्या एका तोंडाशीं कान लावून ऐका व घड्याळाचें टकटकणें ऐकूं येतें का पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं, जेवढया अंतरावरून घड्याळाचें टकटकणें साधारणत: ऐकूं येत नव्हतें, त्यापेक्षांहि अधिक अंतरावरून तें नळाचें सहाय्यानें ऐकू येतें.

पाण्यांत दगड टाकल्यामुळें ज्या लहरीं उत्पन्न होतात त्या वर्तुलाकार पसरतात. या वर्तुळाची त्रिज्या जसजशी वाढते तसतसें पाण्याचा हेल-कावणें किंवा आंदोलन (amplitude) कमी कमी होतें. कारण लहरींत असणारी शक्ति (energy) वर्तुळाची त्रिज्या ज्या मानानें वाढते, त्या मानानें अधिक पृष्ठभागावर पसरते. ध्वनि लहरीहि ज्या ठिकाणीं उत्पन्न होतात त्या बिंदूभोंवतीं त्या गोलावर पसरतात. या गोलाची त्रिज्या जसजशी वाढते तसतशी त्यांच्यांतील (ध्वनि लहरींतील) शक्ति (energy) अधिकाधिक पृष्ठभागावर पसरली जाते व त्यामुळें हवेच्या कणांचीं आंदोलनें लहान होऊन ध्वनीची तीव्रता (intensity) कमी होते, पण ध्वनि जेव्हां नळींतून जातो तेव्हां ही शक्ति एकापुढें एक असणाऱ्या समान क्षेत्रफळाच्या हवेच्या थरास दिली जाते आणि त्यामुळें ध्वनीच्या उगमापासून बऱ्याच लांब अंतरावरहि त्याची तीव्रता कमी होत नाहीं. अथवा

नळींतून आवाज जात असतां ध्वनि लहरींचें अनेक वेळां परावर्तन होतें व त्यामुळें त्या (ध्वनि लहरी) पसरूं शकत नाहींत. याचा परिणाम असा होतो कीं, ध्वनि क्षीण न होता बऱ्याच लांबपर्यंत ऐकूं जातो.

याच तत्त्वावर ध्वनिवाहक अथवा बोलण्याच्या नळयाचें कार्य अवलंबून असतें.

बोलण्याच्या अथवा ध्वनिवाहक नळयाः—या नळया धातूच्या किंवा रबराच्या असतात. यांच्या टोंकास इबोनाइटची किंवा धातूची रुंद तोंडें बसविलेलीं असतात. यांच्या एका टोंकाजवळचें हळू बोलणेंहि दुसऱ्या टोंकाशीं सहज ऐकूं जातें. ध्वनिप्रेषकाचा (telephone) शोध लागण्यापूर्वी लांब अंतरावर असलेल्या माणसांशीं बोलण्याकरतां यांचा उपयोगकरीत असत.

कर्णा (Speaking trumpet):—ही लांब व निमुळत्या आकाराची नळी असते. हिचें पुढील तोंड मागील तोंडापेक्षां पुष्कळच मोठें असते. हिच्या निमुळत्या तोंडाजवळ नीट बोलतां यावें म्हणून थोडें रुंद तोंड बसविलेलें असतें. लांबवर आवाज ऐकू जावा म्हणून असल्या नळयांचा उपयोग करतात. ही नळी जितकी मोठी असते तितकें अधिक लांबपर्यंत ऐकूं जातें.


आ. ३३१

या नळींत ध्वनि अनेक वेळां परावर्तन पावत असल्यानें तो नळीच्या आसांच्या दिशेनें म्हणजे एकाच दिशेनें पुढें जातो म्हणून आवाज दूरवर ऐकू जातो. अथवा

नळीचें तोंड रुंद असल्यानें, ध्वनि हवेंत पसरूं लागण्या-पूर्वी, एकदम बराच मोठा हवेचा थर कंपायमान होतो व त्यामुळें मोठा आवाज उत्पन्न होतो आणि म्हणून तो दूरवर ऐकू जातो.

श्रवण नलिकाः—(Ear trumpet) या नळया कर्ण्यासारख्याच असतात. या नळयांत अरुंद तोंडाशीं न बोलतां रुंद तोंडाशीं बोलतात व अरुंद तोंड कानाशीं लावतात. यांच्या सहाय्यानें साधें बोलणेंहि बहिऱ्या माणसांस सहज ऐकूं येतें.

रुंद तोंडाशीं बोलल्यानें रुद तोंडाच्या क्षेत्रफळाएवढया पृष्ठभागावर

पसरलेली शक्ति (ध्वनि लहरींतील) कमी कमी क्षेत्रफळाच्या पृष्ठभागावर केंद्रित होते व त्यामुळें आंदोलनें (amplitude) मोठीं होऊन आवाज मोठा होतो. आणि आवाज मोठा झाला म्हणजे तो बहिऱ्या माणसांस सहज ऐकूं जातो.

छाती तपासण्याचे यंत्र किंवा नळया:—(Stethoscope)

याचें कार्यहि याच तत्त्वावर अवलंबून असतें. हृदयाच्या आकुंचनामुळें आणि प्रसरणामुळें होणारा 'लब्ढब्' असा क्षीण आवाज याच्या सहाय्यानें चांगला स्पष्ट ऐकू येतो व हृदयांतील विकृतीमुळें आवाजांत होणारा सूक्ष्म फरकहि सहज ओळखितां येतो.

समुद्राची खोली ठरविणें:—समुद्राची खोली ठरविण्याकरतां प्रतिध्वनीचा उपयोग करतात. जहाजांत पाण्याच्या पृष्ठभागाखालीं स्फोट करण्याची योजना असते. तो स्फोट केल्यावर, त्याचा समुद्राच्या तळापासून उत्पन्न होणारा प्रतिध्वनि ऐकूं येण्यास त्यानंतर किती वेळ लागतो हें पाहतात. ध्वनीची पाण्यांतील गति माहीत असल्यानें तो (ध्वनि) इतक्या वेळांत किती अंतर जाऊं शकतो तें ठरवून त्याची निम्पट करतात आणि याप्रमाणें समुद्राची खोली ठरवितात.

सूर म्हणजे काय ?

ध्वनि दोन प्रकारचा असतो. एकास **मधुर ध्वनि** किंवा **सूर** (musical sound) व दुसऱ्यास **कर्कश ध्वनि** (noise) म्हणतात. ध्वनि उत्पादक पदार्थाच्या कंपामुळें उत्पन्न होणाऱ्या ध्वनि लहरी जेव्हां एकसारख्या एका मागून एक व नियमितपणें कानावर आदळतात तेव्हां एकप्रकारचा ध्वनि ऐकू येतो. (उदाहरणार्थ सतारीचा किंवा तंबोऱ्याचा आवाज) हा ध्वनि कानास आल्हादकारक वाटतो. या ध्वनीस **सूर** म्हणतात. सूर उत्पन्न करणाऱ्या कंपाचा कंपकाल निश्चित असतो.

कर्कश ध्वनि हा तोफेच्या आवाजा सारखा अल्पकाल टिकणारा असतो किंवा विजातीय ध्वनींचे (निरनिराळी लांबी असलेल्या ध्वनिलहरींचे) मिश्रण असते. अशाप्रकारच्या ध्वनिलहरींत नियमितपणा मुळींच असत नाहीं. विजेचा कडकडाट किंवा एकदम पुष्कळ माणसें बोलूं लागलीं म्हणजे उत्पन्न होणारा आवाज, ही कर्कश ध्वनींची उदाहरणें आहेत.

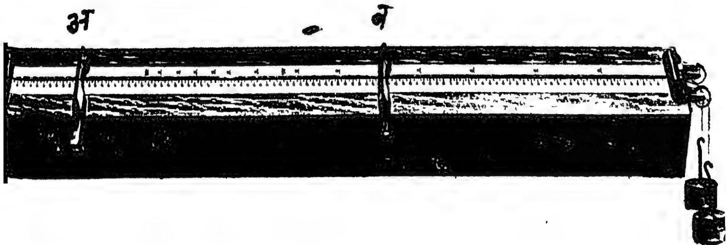
सुराचा उच्चनीचपणा (Pitch)

प्रयोग ३०४—सायकलच्या मागल्या चाकास लावलेल्या आधारावर सायकल ठेवा व तिचें मागलें चाक हळूहळू फिरवा. चाक फिरत असतां त्यावर एक पोस्टकार्ड दाबून धरा व कांहीं आवाज ऐकूं येतो का पाहा. चाकाची गति हळूहळू वाढवा व आवाजांत कांही फरक होतो का पाहा.

तुम्हांस असें दिसेल कीं, जेव्हां चाक हळू फिरत असते तेव्हां चाकावरील धाव गुळगुळीत नसल्यानें ' फट्फट् ' असा आवाज ऐकूं येतो. चाकाची गति थोडी वाढली म्हणजे सुस्वर आवाज निघूं लागतो आणि चाकाची गति जसजशी अधिक वाढते तसतसा आवाज कर्कश होऊं लागतो.

यावरून असें दिसेल कीं ठराविक वेळांत कागदाचीं कंपनें जितकीं अधिक होतात, तितका आवाजाचा सूरहि अधिक उंच असतो; अथवा नाददायी पदार्थाचा कंपकाल जितका कमी तितका सूर उंच असतो.

प्रयोग ३०५—एका पोकळ व लांब लांकडी पेटीच्या एका टोंकाजवळ एक खिळा ठोकून त्यास बारीक तारेचें एक टोंक बांधा. ही तार पेटीच्या दुसऱ्या टोंकाजवळ असलेल्या कप्पीवरून लोंबत सोडून तिच्या दुसऱ्या टोंकांस एक आकडा अडकवा. या आकड्यावरून वजनें टांगा म्हणजे तार ताणली जाईल. पेटीवर तारेच्या खालीं ' अ ' आणि ' ब ' हे दोन



आकृति ३३२

त्रिकोणी आधार ठेवा. त्यांपैकीं ' अ ' हा आधार खिळ्याचे जवळ पक्का बसवा. त्यापासून कांहीं अंतरावर ' ब ' हा आधार ठेवा या दोन आधारां-

मधील अंतर पाहून तार छेडा व उत्पन्न होणारा आवाज ऐका. 'अ' आणि 'ब' मधील अंतर हळूहळू वाढवा व प्रत्येक वेळीं तार छेडून उत्पन्न होणारा आवाज ऐका, तसेंच त्यांचेमधील अंतर हळू हळू कमी करून तार छेडा व आवाजांत कसकसा फरक होतो तें पाहा.

तुम्हांस असें आढळेल कीं या दोन आधारांमधील अंतर जसजसें वाढतें तसतसा सूर खालीं खाली येतो व हें अंतर जसजसें कमीकमी होतें तसतसा सूर चढूं लागतो.

साध्या आंदोलकाचा (pendulum) कंपकाल (time of oscillation) त्याच्या लांबीवर अवलंबून असतो. ही लांबी जितकी अधिक असते तितका कंपकालहि अधिक असतो. हीच गोष्ट ताणलेल्या तारेच्या बाबतींतहि खरी असते. या तारेची लांबी जितकी जास्त तितका तिचा कंपकालहि जास्त व ती जितकी कमी तितका कंपकालहि कमी असतो.

वरील प्रयोगांत दोन आधारांमधील अंतर जेव्हां कमी असतें तेव्हां हालणाऱ्या तारेची लांबी कमी असते व म्हणून तिचा कंपकालहि कमी असतो.

यावरून असें दिसेल कीं ठराविक वेळांत होणारे तारेचे कंप जितकें जास्त तितका तिच्यातून निघणाऱ्या आवाजाचा सूरहि उंच असतो अथवा आवाजाचा सूर दर सेकंदास होणाऱ्या कंपांच्या संख्येवर अवलंबून असतो.

प्रश्नसंग्रह ३१ वा.

१. ध्वनीचा मोठेपणा कोणकोणच्या गोष्टींवर अवलंबून असतो ?

२. ध्वनीचा मोठेपणा ध्वनिवाहक माध्यमाच्या घनतेवर अवलंबून असतो हें सिद्ध करण्याकरतां कोणचे प्रयोग कराल ?

३. जो आवाज जवळून ऐकला असतां कानठाळ्या बसतात, तोच आवाज लांबून ऐकला तर अतिशय हळू ऐकूं येतो याचें कारण काय ?

४. प्रकाश किरणांच्या परावर्तनाच्या नियमानुसार ध्वनिकिरणेंहि परावर्तन पावतात हें कसें सिद्ध कराल ?

५. कुजबुजहि ऐकूं येते असे सज्जे (whispering galleries) म्हणजे काय ? त्याचें कार्य समजाऊन सांगा.

६. प्रतिध्वनि म्हणजे काय ? तो कसा उत्पन्न होतो ?

७. गाण्याचे जलसे उघड्या मैदानांत न करतां मोठमोठ्या दिवाणखान्यांतून कां करतात ?

८. अनेक प्रतिध्वनि म्हणजे काय ? वीज चमकल्यावर गडगडणें बराच वेळ ऐकूं येतें याचें कारण काय ?

९. आपलें बोलणें साधारणतः ५० फूट अंतरावरील माणसास ऐकूं जात नाहीं पण ५० फूट लांबीच्या नळाच्या एका टोंकाशीं बोलले तर तें बोलणें दुसऱ्या टोंकाशीं सहज ऐकूं जातें याचें कारण काय ?

१०. कर्ण्यांतून बोललें म्हणजे तें बोलणें लांबवर ऐकूं येतें याचें कारण काय ?

११. छाती तपासण्याच्या नळयाचे कार्य कोणच्या तत्त्वावर अवलंबून असतें ?

१२. सुराचा उच्चनीचपणा कशावर अवलंबून असतो ?

———

प्रकरण ३२ वें

ध्वनिपुनरुत्पादक (Gramophone) आणि कान.

ध्वनिपुनरुत्पादक:—(Gramophone) गाण्यामुळें अथवा बोलण्यामुळें ज्या प्रकारची कंपनें (Vibrations) हवेंत उत्पन्न होतात त्या कंपनानुसार जर एखादा स्थितिस्थापक पडदा कंप पावूं शकत असेल तर, असल्या पडद्याच्या सहाय्यानें आपलें बोलणें अथवा गाणें जसेंच्या तसेंच पुनः ऐकतां येणें शक्य आहे या तत्त्वावर ध्वनिपुनरुत्पादकाचे कार्य अवलंबून असतें.

स्थितिस्थापक पडद्यांत हीं कंपनें कशीं उत्पन्न करतात ?

स्थितिस्थापक पडद्यात हीं कंपनें उत्पन्न करण्याकरतां ध्वनिलेखन करावें लागतें. ध्वनि लेखन करण्याची युक्ति प्रसिद्ध अमेरिकन शास्त्रज्ञ **एडिसन** यानें प्रथम शोधून काढली.

ध्वनिलेखन करण्याकरता पहिल्या पहिल्यानें एका कर्ण्याच्या निमुळत्या टोंकावर ध्वनि प्रेषकांतील (Telephone) क्षेपकांमध्यें (Transmitter) जसा पातळ पत्रा ताणून बसविलेला असतो, तसा पातळ पत्रा बसविलेला असे. या पत्र्याच्या मध्यभागीं एक सुई चिकटविलेली असे. या सुईचें टोंक एका मेणाच्या बांगडीवर टेकलेलें असे. ही बागडी एका टोंकांकडून दुसऱ्या टोंकांकडे समगतीनें सरकावी व आपल्या आसाभोंवतीं गोल फिरावी अशी योजना केलेली असे. ज्या माणसाचें बोलणें अथवा गाणें ध्वनिपुनरुत्पादकामध्यें घ्यावयाचें असे तो माणूस त्या कर्ण्याच्या रुंद तोंडासमोर बोले किंवा गाई. त्याच्या गाण्यामुळें अथवा बोलण्यामुळें ज्या ध्वनिलहरी उत्पन्न होत त्या पडद्यावर पडल्या म्हणजे त्या पडद्यांतहि तंतोतंत त्याच प्रकारचे कंप उत्पन्न होत व त्यास लावलेल्या सुईच्या साहाय्यानें मेणाच्या बांगडीवर कोरले जात. याप्रमाणें ध्वनिलहरींचा आलेख मेणाच्या बांगडीवर काढला जात असे.

वरीलप्रमाणें या यंत्रानें ध्वनीचा आलेख काढला जात असल्यानें या यंत्रास '**ध्वनिलेखक**' (Phonograph) असें म्हणत. गाणें अथवा बोलणें ऐकतांना म्हणजे ध्वनिलेख वाजवितांना जेव्हां ही सुई या कोरलेल्या भागांतून पुनः फिरत असे तेव्हां ती ज्या पडद्यास चिकटविलेली

असे त्यांतहि तंतोतंत पूर्वीसारखेच कंप उत्पन्न होत व कर्ण्यांतून तोच ध्वनि पुनः ऐकूं येई.

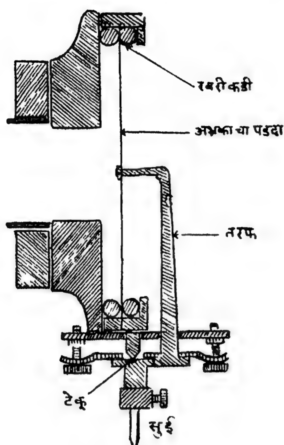
अलीकडे यांत बऱ्याच सुधारणा केल्या आहेत. हल्लीं मेणाच्या बांगड्यांच्या ऐवजीं मेणाच्या तबकड्या वापरतात. या वापरण्यास अधिक सोईच्या असून याना ठेवण्यास जागाहि कमी लागते.

ध्वनिलेखन करते वेळीं ही मेणाची तबकडी समगतीनें गोल फिरत असते व ज्या दांडीवर सुई बसविलेली असते तीहि तबकडीच्या परिघापासून मध्याकडे समगतीनें सरकत असते. यामुळें तबकडीवर वेणीसारखा (Sprial) चरा पडतो. ज्या गाण्याचा अथवा बोलण्याचा ध्वनिलेख घ्यावयाचा असेल त्याचा आवाज ध्वनिप्रेषकांतील (Telephone) मधील क्षेपकाच्या (Transmitter) पडद्यावर पडेल अशी योजना करतात. हा आवाज क्षेपकाच्या पडद्यावर पडला म्हणजे मंडलातून वाहणाऱ्या विद्युत्-प्रवाहांत फरक पडतो व त्यामुळें विद्युल्लहरी उत्पन्न होतात. या फार क्षीण असल्यानें त्यांना वर्धकाच्या (Amplifier) सहाय्यानें प्रबल करतात. या प्रबल झालेल्या लहरी ग्राहकांतील (Telephone Receiver) विद्युच्चुंबकामधून गेल्या म्हणजे त्याच्या चुंबक शक्तींत फरक पडतो. यामुळें चुंबकापुढें बसविलेली ध्वनिलेखन करणारी तीक्ष्ण सुई कंप पावते व तबकडीवर कमी जास्त उंचीचे व खोलीचे आडवे चरे कोरले जातात. सुईची कंपनें क्षेपकांतील पडद्याच्या कंपनामुळेंच होत असल्यानें तबकडीवर ध्वनिलेख तयार होतो.

ध्वनिलेख वाजवितांना सुई जेव्हां त्या चऱ्यांतून फिरते तेव्हां ती पूर्वीसारखेच कंप पावूं लागते. यामुळें तिला जोडलेला नादवर्धिनीमधील (Sound box) पडदाहि कंप पावूं लागतो व ज्या गाण्याचा अथवा बोलण्याचा तो लेख असेल तें गाणे अथवा बोलणे पुनः जसेंच्या तसेंच आपणास पुनः ऐकूं येतें.

नादवर्धिनीच्या (Sound box) सहाय्यानें आवाज मोठ्यानें ऐकूं येतो याचे कारण तिच्यांतील पडद्याचे हेलकावणें (Amplitude) मोठें असतें हें आहे. हें हेलकावणें मोठें करण्याकरतां तरफेच्या तत्त्वाचा उपयोग करतात.

' अब ' ही सुई (आ. ३३४)' क ' येथें खिळविलेली असून तिचें ' ब ' हें टोंक तबकडीवरील चऱ्यांतून फिरते. तिचे ' अ ' टोंक नादवर्धिनींतील



आकृति ३३३



आकृति ३३४

पडद्यास जोडलेलें असतें. ' अब ' तरफेची (सुइची) ' अक ' ही बाजू 'कब' बाजूपेक्षां पुष्कळच मोठी असते म्हणून 'ब' या टोकांच्या लहान हेलकाव्यामुळें ' अ ' हें टोंक मोठ्यानें हेलकावे खाऊं लागते. ' अ ' टोंकाचा हेलकावा ' ब ' टोंकाच्या हेलकाव्याच्या $\frac{\text{अक}}{\text{कब}}$ इतके पट मोठा असतो. सुईचें ' अ ' हें टोंक ध्वनिवर्धिनींतील पडद्यास जोडलेलें असल्यानें पडद्याचे हेलकावेहि ' ब ' टोंकाच्या हेलकाव्यांच्या $\frac{\text{अक}}{\text{कब}}$ इतक्या पटीनें मोठे होतात व त्यामुळें आवाजहि मोठ्यानें उत्पन्न होतो.

अलीकडे ध्वनिपुनरुत्पादकाचा आवाज लहान मोठा करण्याकरता निरनिराळ्या आकाराच्या (size) सुया मिळतात. या सुयांची लांबी कमी जास्त

असते. लहान सुई लावली म्हणजे $\frac{\text{अक}}{\text{कब}}$ या गुणोत्तराची किंमत वाढते व नादवर्धिनीमधील पडद्याचे हेलकावणेहि त्या मानानें वाढते व मोठा आवाज उत्पन्न होतो. याचे उलट लांब सुई लावली म्हणजे या गुणोत्तराची किंमत कमी होते व नादवर्धिनीमधील पडद्याचे हेलकावणेंहि त्या मानानें कमी होते व लहान आवाज उत्पन्न होतो.

ध्वनिपुनरुत्पादकाच्या तबकड्या (Records) तयार करताना पहिल्यानें ज्या मेणाच्या तबकडीवर गाण्याचा अथवा बोलण्याचा आलेख घेतलेला असेल त्या तबकडीवर विजेच्या सहाय्यानें तांबे चढवून त्या आलेखाचा ठसा तयार करतात. या ठशास टणकपणा आणण्याकरतां याच्यामागें जाड पोलादी पट्टी बसवितात. लाख, चिंध्या, ट्रिपोली पावडर, बेरियम सल्फेट आणि काजळ इत्यादि पदार्थ एकत्र घोटून चांगले मिसळतात. हें मिश्रण ठसे तापवून ते ऊन असतांनाच त्यांवर जल-दाब-यंत्रानें (Hydraulic press) दाबतात. याप्रमाणें ध्वनिपुनरुत्पादकाच्या तबकड्या तयार करतात. अलीकडे या तबकड्या करण्याकरता बॅकेलाइटचा उपयोग करतात.

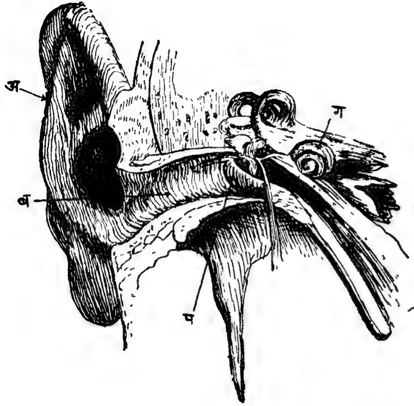
कान:—मनुष्याच्या कानांत मुख्यतः तीन भाग असतात. (१) बाहेरील न(२) मधला कान आणि (३) आंतील कान.

‘ अ ’ या बाहेरील कानाचे मुख्य काम ध्वनिलहरी गोळा करण्याचे आहे. हा भाग लिवलिवीत असून वांकवितां येतो. या भागांत गोळा झालेल्या ध्वनिलहरी ‘ ब ’ या नळीवाटे ‘ प ’ या कानांतील पडद्यावर आपटतात. ‘ प ’ हा अतिशय बारीक असा कातड्याचा पडदा असून, हा ‘ ब ’ या नळीच्या आंतील तोंडावर ताणून बसविलेला असतो. हा पडदा बाहेरील कान व मधला कान यांच्या जोडावर असतो. या पडद्याच्या दोन्ही अंगास हवेचा दाब सारखाच राहावा म्हणून मधल्या कानांतून एक नळी तोंडांत घशाजवळ आणून सोडलेली असते.

मधला कान पोकळ ढोलासारखा असून त्यांत एक प्रकारची हाडांची सांखळी असते. ध्वनि लहरीमुळें पडद्यांत उत्पन्न होणारे कंप या सांखळीच्या सहाय्यानें आंतील कानास पोंचविले जातात.

आंतील कान पोकळ नळीसारखा असून त्याचा बहुतेक भाग हाडाचा

असतो. या नळीचे तिच्या सवंध लांबीभर, एक वरचा व एक खालचा, असें दोन भाग केलेले असतात. या नळींत एक प्रकारचा द्रव भरलेला







आकृति ३३५

असतो. आंतील कानांत 'ग' हा गोगलसारखा भाग असतो. याच्या वरच्या भागांत श्रावक रज्जूच्या (auditory nerve) एका टोंकाकडील ज्ञानतंतूंची टोंकें लोंबत असतात. श्रावक रज्जूचे दुसरें टोंक मेंदूशीं जोडलेलें असतें. ध्वनि लहरीमुळे पडद्यांत उत्पन्न होणाऱ्या कंपाचे ज्ञान आंतील कानांत असणाऱ्या द्रवाच्या व ज्ञानतंतूच्या सहाय्यानें मेंदूस होते व आपणास ऐकूं येते.

प्रश्नसंग्रह ३२ वा.

१. ध्वनिपुनरुत्पादकाचे कार्य कोणच्या तत्त्वावर अवलंबून आहे?
२. पूर्वी ध्वनिलेखन कसें करीत असत?
३. अलीकडे ध्वनिलेखनाच्या पद्धतींत काय सुधारणा केल्या आहेत?
४. ध्वनिपुनरुत्पादकाच्या तबकड्या कशा तयार करतात?
५. ध्वनिलेख वाजवितांना आवाज लहान किंवा मोठा करण्याकरता काय योजना केलेली असते?
६. मनुष्याच्या कानाविषयीं थोडक्यांत माहिती लिहा.

पारिभाषिक शब्दांची यादी

विज्ञान



असंपृक्त वाफ	Unsaturated vapour
अनुद्भूत उष्णता	Latent heat
अचुंबकीय पदार्थ	Non-magnetic substances
अखड	Continuous
अक्रिय	Inactive
अंशग्रहण	Partial Eclipse
अंतर्गोल	Concave
अंतर्बाह्य गोल	Concavo-Convex
अखंड मालिका	Endless Chain
अंतर्ज्वलन एंजिनें	Internal Combustion Engines
अंतर्गत पूर्ण परावर्तन	Total internal Reflection
अंतर्गोल आरसा	Concave Mirror
अखंड रंगपट्ट	Continuous Spectrum
अस्थितिस्थापक पदार्थ	Non Elastic Substances
अनेक प्रतिध्वनी	Multiple Echoes
आधार	Stand
आकार	Shape
आकारमान	Size
आकारमानाचा प्रसरणगुणक	Coefficient of Cubical Expansion
आर्द्रतामापन	Hygrometry
आयनीभवन	Ionisation
आंतील विरोध	Internal Resistance

आडवा छेद	Cross Section
आडवा कंप	Transverse Vibration
आडव्या लहरी	Transverse Waves
आंदोलन	Amplitude
आंदोलनास लागणारा वेळ	Time of Amplitude
आंदोलक	Pendulum
उष्णमान	Temperature
उष्णमानमापक यंत्र	Thermometer
उष्णताग्राहक शक्ति	Capacity for Heat
उष्णतामापक पात्र	Colorimeter
उष्णकिरणाभेद्य	Diathermanous
उष्णकिरणाभेद्य	Athermanous
उष्णतेचें यांत्रिक मूल्य	Mechanical Equivalent of Heat
उष्णतेमुळें चालणारीं यंत्रें	Heat Engines
उत्तरदर्शी ध्रुव	North Seeking Pole
उत्तर ध्रुव	North Pole
उपप्रवर्तन	Secondary induction
उभी पातळी	Vertical plane
उपमंडल	Secondary circuit
उभ्या लहरी	Longitudinal Waves
ऋण जागृति	Negative Charge
ऋणविद्युन्मार्ग	Cathode
एकमध्य	Concentric
एकांतर प्रवाह	Alternating Currents
एकाच दिशेने वाहणारा प्रवाह उत्पन्न करणारें यंत्र	Direct Currrent dynamo
एक स्पर्श पद्धति	Method of Single touch
कथन बिंदू	Boiling point

कंकणाकृति ग्रहण	Annular Eclipse
किरण विसर्जन	Radiation
केंद्रत्यागी जोर	Centrifugal Force
कारक शक्ति	Resultant Force
कलकोन	Angle of Dip
कलकांटा	Dip Needle
कणवाद	Corpuscular thoery
केंद्र	Focus
केंद्रांतर	Focul length
क्रांतिकोन	Critical Angle
कवच (पारदर्शक)	Cornea
कोनीय अंतरमापक	Sextant
कोनीय उंची	Angular height
कंप	Vibration
किरण–विकिरण	Dispersion
कंपकाल	Period of Vibration
कुजबुजहि ऐकूं येते असे सज्जे	Whispering Galleries
कर्णा	Speaking trumpet
कंपकाल	Time of Oscillation
खरी प्रतिमा	Real Image
खग्रास ग्रहण	Total Eclipse
गोठण्याचा बिंदू	Freezing point
गोलतामापक	Spherometer
गोठविण्याचीं मिश्रणें	Freezing Mixtures
गति शक्ति	Kinetic Energy
गतिचक्र	Fly wheel
गाभा	Core
गोल आरसे	Spherical Mirrors
घनीभवन	Solidification

घर्षणजन्य विद्युत्	Frictional Electricity
घनछाया	Umbra
चंचुपात्र	Beaker
चोंद झडप	Throttle Valve
चलविद्युत्चे रासायनिक परिणाम	Chemical Effects ofan Electric current
चलविद्युत्चे उष्णताविषयक परिणाम	Heating effects of an Electric current
चुंबकत्व	Magnetism
चुंबक	Magnet
चुंबकीय पदार्थ	Magnetic Substances
चुंबकीय सुई	Magnetic Needle
चुंबकत्वाची अणुमय कल्पना	Molecular theory of Magnetism
चुंबकीय प्रवर्तन	Magnetic Induction
चुंबकत्वाची संग्राह्यता	Retentivity
चुंबकत्व वाहक शक्ति	Permeability
चुंबक रक्षक	Magnetic Keepers
चुंबक प्रभाव विच्छेदन	Magnetic Screening
चुंबकीय क्षेत्र	Magnetic field
चुंबकीय बलरेषा	Magnetic lines of force
चुंबक कांटा	Compass Needle
चुंबकीय भूमध्य पातळी	Magnetic Meridian
चुंबकीय विषुववृत्त	Magnetic Equator
च्युतिकोन	Angle of deviation
छाया	Shadow
छाति तपासण्याचें यंत्र	Stethoscope
छेद	Section
जडता	Inertia
जोड स्पर्श पद्धति	Method of double touch
जागृति	Charge

जलध्वनिग्राहक	Hydrophone
जलदाब यंत्र	Hydraulic press
डॅनियलचें आर्द्रतामापक	Daniel's Hydrometer
ढवळणी	Stirrer
ढग	Clouds
तऱ्या	Floats
तक्कट यंत्र	Plate Machine
तारा यंत्र	Electric Telegraph
तंतू	Filament
तंतुपटल	Retina
तीव्रता	Intensity
द्रवीभवन	Liquefaction
दंव	Dew
दंवबिंदू	Dew point
दिशादर्शक दगड	Lode or Leading Stone
दक्षिण ध्रुव	South pole
दोषिक ध्रुव	Consequent poles
दोन चुंबकांची सहाय्यक मांडणी	Two Magnets in Conjunction
दोन चुंबकांची विघातक मांडणी	Two Magnets in opposition
दूरलेखक	Telegraph
दाबगुंडी	Push button
दर्शन मध्य	Optical Centre
दाबवर्धन गुणक	Coefficient of increase of pressure
दार्शनिक घनता	Optical Density
दृक्यंत्रें	Optical Instruments
दीर्घ दृष्टि	Longsight or Hyper Metropia
दृष्टिमांद्य	Loss of Accommodation or Presbyopia

द्वित्तबाह्यगोल	Double Concave
द्वित्तअंतर्गोल	Double Concave
दूरदृष्टिबिंदू	Far point
दृष्टिसातत्य	Persistance of Vision
दृष्टिभिंग	Eye piece
दूरदर्शक	Telescope
दृक्दीप, चित्रदीप	Optical Lantern
दाबलहर	Wave of compression
दाबस्पंद	Pulse of Compression
धुकें	Mist
धनदिशा	Positive direction
धनविद्युन्मार्ग	Anode
धनजागृति	Positive Charge
धनभिंग	Positive Lens
ध्वनि	Sound
ध्वनिद्योतक ज्योत	Sensitive flame
ध्वनीची गति	Velocity of Sound
ध्वनिवर्धक	Microphone
ध्वनिक्षेपक	Transmitter
ध्वनीचा मोठेपणा.	Loudness of Sound
ध्वनिपरावर्तन	Reflection of Sound
ध्वनिप्रेषक यंत्र	Telephone
ध्वनिवाहक नळ्या	Speaking tubes
ध्वनिपुनरुत्पादक	Gramophone
ध्वनिवर्धक	Amplifier
निरपेक्ष शून्य	Absolute Zero
नियंत्रक झडप	Regulating Valve
नळकांडे	Cylinder
निष्क्रिय बिंदू	Nevtral points

नियंत्रक	Governor
निष्कल रेषा	Aclinic Lines
निर्द्रव विद्युत्घट	Dry cell
निनादक	Sounder
नेहमींचें प्रकाशलेखन यंत्र	Ordinary Camera
नित्यसंयोजना	Normal Adjustment
नादकांटा	Tuning Fork
नादवर्धिनी	Sound Box
पोलादी कमान	Spring
पात्राचे तुल्यजल	Water Equivalent
प्रापण	Convection
प्रापण प्रवाह	Convection Currents
पेपिनचा पाचक	Papin's digester
प्रवर्तित चुंबकत्व	Induced Magnetism
प्रवर्तक	Inductor
परीक्षापत्र	Proof plane
परमाणूभार	Atomic Weight
परमाणूक्रम	Atomic Number
प्रवर्तित जागृति	Induced Charge
पारदविलेपन	Amalgamation
प्राणिदावन	Oxidation
प्रवर्तित प्रवाह	Induced Current
प्रेषक मंडल	Transmitter Circuit
प्रकाशाविषयींच्या कल्पना	Theories regarding the nature of light
प्रकाश नेहमीं सरळ रेषेंत जातो	Rectilinear propogation of light
परावर्तन	Reflection
पतन किरण	Incident Ray

परावृत्त किरण	Reflected ray
पतन बिंदू	Point of Incidence
पतन कोन	Angle of Incidence
परावर्तन कोन	Angle of Reflection
परकार	Compasses
प्रतिमा	Image
पातळी	Focal plane
प्रकाशदायी बिंदू	Source of light
परावर्तक	Reflector
प्रकाश लेखन	Photography
पडदा	Iris
पटल (तंतू)	Retina
पूरक रंग	Complementary Colours
प्रकाश मापन	Photometry
प्रकाशदायित्व	Luminosity
फुंकणी	Blow pipe
प्रसरस्पंद	Pulse of rarefaction
परवलयाकार	Parabolic
प्रतिध्वनि	Echo
बर्फावरून घसरत चालणें	Skating
बाष्पीभवन	Evaporation
बद्ध ऋण विद्युत्	Bound Negative Charge
बाजूंची उलट	Lateral inversion
बाह्यगोल	Convex
बाह्यांतर्गोल	Convexo Concave
बाह्यगोल आरसा	Convex Mirror
भागशः ऊर्ध्वपातन	Fractional distillation
भिन्न मध्य	Eccentric
भाग स्पर्श पद्धति	Divided touch

बाष्प पेटिका	Steam chest
भूचुंबकत्व	Terrestrial Magnetism
भौगोलिक भूमध्य पातळी	Geographical Meridian
भेंडाच्या गोळ्यांचें विद्युद्दर्शक यंत्र	Pith ball Electroscope
भग्नमंडल	Open circuit
भिंग	Lens
भ्रामक प्रतिमा	Virtual Image
भिंगाची शक्ति	Power of the lens
माप	Unit
महत्तम आणि लघुतम उष्णमान-मापक यंत्रें	Maximum and Minimum Thermoœeters
मंदवाहक	Bad conductors
मतलय व खारे वारे	Land and Sea breezes
मोसमी वारे	Monsoons
मळसूत्रें व फिरक्या	Bolts and Nuts
मुख्य मंडल	Primary Circuit
महत्कारी भिंगें	Magnifying glasses
मुख्य केंद्र	Principal focus
महत्कारी शक्ति	Magnifying power
मार्गदर्शकदीप	Head lights
यांत्रिक काम	Mechanical Work
रोधित तांब्याची तार	Insulated copper wire
लांबीचा प्रसरणगुणक	Coefficient of linear Expansion
लहर वाद	Wave theory
लंब वर्तुलाकार	Elliptical
लहरी विच्छेदन	Interferance
लघुदृष्टि	Short sight or Miopia
वहन	Conduction
वाहक	Conductor

विसर्जक	Radiator
विद्युत्तापक	Electric Heater
वाफेचा महत्तम दाब	Maximum Vapour Pressure
वाफेची अनुद्‌भूत उष्णता	Latent heat of vaporisation
वाफेची एंजिनें	Steam Engines
वक्र आंस	Crank
विचुंबक करणें	Demagnetise
विचलन	Declination
विद्युद्दर्शक यंत्र	Electroscope
विद्युद्वाहक व विद्युद्रोधक पदार्थ	Conductors & insulators
विद्युत्कण	Electron
विद्युत् प्रभाव विच्छेदक पडदा	Electrical Screen
वीजवाहक	Lightning Conductors
विद्युद्दाब व विद्युद्धारण शक्ति	Potential & Capacity
विद्युत् संचायक	Condensors
विद्युद्यंत्रें	Electrical Machine
विद्युद्धारक यंत्र	Electrophorus
विद्युत् प्रवाह	Electric Current
विद्युत् सारण शक्ति	Electromotive Force
विद्युत् प्रवाहदर्शक यंत्र	Galvanoscope
विषम ध्रुव सांधणी	Joining in Series
विद्युन्माला	Battery
विद्युद्वाहक द्रव	Electrolytes
विद्युन्मार्ग	Electrodes
विद्युद्विश्लेषण	Electrolysis
विद्युद्धात्वारोहण	Electro plating
विद्युत्चे सहाय्यानें ठसा तयार करणें	Electro typing
विद्युत्प्रवाहाचे चुंबकीय परिणाम	Magnetic effects of an electric Current

वेटोळें (तारेचे)	Spiral
विद्युच्चुंबक	Electro magnet
विद्युद्दाबमापक	Volt meter
विरोध शक्ति	Resistance
विद्युत्प्रवाहमापक	Galvanometer
विद्युच्चाप	Electric Arc
वाफ	Vapour
विद्युच्चलनी	Electric Motor
विद्युत्प्रवाहोत्पादक	Dynamo
विभागलेल्या कडीचा दिशा प्रवर्तक	Split ring commutator
विद्युद्दाब प्रवर्तक	Transformers
विद्युद्दाब वाढविणारा	Step up
विद्युद्दाब कमी करणारा	Step down
विरल छाया	Penumbra
वर्धमानांतर भिंग	Diverging Lens
वक्रीभवन	Refraction
वक्रीभूत किरण	Refracted ray
वक्रीभवन कोन	Angle of Refraction
वक्रीभवन दर्शक	Index of Refraction
वक्रकारी कोन	Refracting Angle
वक्रतेचा मध्य	Centre of curvature
वक्रतेची त्रिज्या	Radius of curvature
वस्तुभिंग	Object glass
शक्ति	Energy
शक्तिचें अविनाशित्व	Principle of conservation of energy
शुद्ध रंगपट्ट	Pure spectrum
श्रावक रज्जू	Auditory nerve
श्रवण नलिका	Ear trumpet

समीप दृष्टि	Near point
स्थिर उष्णमानरक्षक	Thermos Flask
स्थित्यंतर	Change of State
संपृक्त वाफ	Saturated Vapour
संपृक्त वाफेचा दाब	Saturation Vapour Pressure
संरक्षक झडप	Safty valve
सेंद्रिय पदार्थ	Organic Matter
सर्व साधारण शक्ति	Average Energy
सापेक्ष आर्द्रता	Relative Humidity
स्थान	Position
स्थान शक्ति	Potential Energy
सूक्ष्मभेददर्शी	Sensitive
सरक झडप	Sliding valve
समविचलन दर्शिका	Isogonic Lines
समकल दर्शिका	Isoclinic lines
स्थिर विद्युत्	Static Electricity
सुवर्ण पत्र विद्युत्दर्शक यंत्र	Gold Leaf Electroscope
सक्रिय	Active
स्थानिक क्रिया	Local Action
समध्रुव सांधणी	Joining in parallels
संग्राहक घट	Accumilators
संस्करण	Forming
साहाय्यक विद्युच्चुंबक	Re lay
सव्यापसव्य प्रवाहोत्पादक	Alternator
सूक्ष्मछिद्र प्रकाश लेखन यंत्र	Pin hole Camera
स्थलभेद पद्धति	Parallax Method
समतल बाह्यगोल	Plano Convex
समतल अंतर्गोल	Plano Concave
संबद्ध किंवा संयोगी केंद्रे	Conjugate foci

स्पर्श पातळी	Tangent Plane
साधें प्रकाशलेखन यंत्र	Simple Camera
साधें सूक्ष्मदर्शक यंत्र	Simple Microscope
संयुक्त भिंगाचें सूक्ष्मदर्शक यंत्र	Compound Microscope
संरेखिका	Collimator
सुराचा उच्चनीचपणा	Pitch
सोन्याचें तेजाप	Nitric Acid
साधा विद्युद्‍घट	Simple cell
सूर	Musical Sound
हवेचें उष्णमानमापक यंत्र	Air thermometer
हवाकशा	Ventilators
हिमरक्षक	Refrigerator
क्षेत्रफळाचा प्रसरणगुणक	Coefficient of Cubical Expansion
क्षिप्रता	Frequency
क्षार	Salt
